



Pedro Miguel Monge Davide

Licenciado em Ciências da Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Sistema de Gestão Para a Recolha de Material Reciclável

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Orientador: João Almeida das Rosas, Professor Auxiliar, DEE-
FCT

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Luís Manuel Camarinha de Matos – FCT/UNL
Arguente: Prof. Doutora Patrícia Alexandra Pires Macedo – EST/IPS
Vogal: Prof. Doutor João Almeida das Rosas – FCT/UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro de 2012

Pedro Miguel Monge Davide

Licenciado em Ciências da Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Sistema de Gestão Para a Recolha de Material Reciclável

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Orientador: João Almeida das Rosas, Professor Auxiliar, FCT

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Luís Manuel Camarinha de Matos – FCT/UNL
Arguente: Prof. Doutora Patrícia Alexandra Pires Macedo – EST/IPS
Vogal: Prof. Doutor João Almeida das Rosas – FCT/UNL

Outubro de 2012

Sistema de Gestão Para a Recolha de Material Reciclável

Copyright©:

Pedro Miguel Monge Davide, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedicatória e Agradecimentos

Para a realização desta dissertação de mestrado foram vários os intervenientes que, de forma directa ou indirecta, colaboraram comigo e merecem o meu reconhecimento e gratidão.

Ao meu orientador, Professor Doutor João Almeida das Rosas, pela dedicação, atenção, empenho e total disponibilidade com que me direccionou e acompanhou nesta dissertação, assim como aos comentários e sugestões que sempre prontamente me apresentou.

Aos meus pais, Francisco Davide e Maria de Deus Davide, a motivação e coragem que sempre me deram para prosseguir os meus estudos e o apoio incondicional nos melhores e piores momentos.

À minha irmã, Helena Davide, o apoio e carinho que sempre me deu ao longo desta caminhada, estando sempre por perto nos momentos em que mais precisava, contribuindo em muito para o meu sucesso em toda minha a formação académica.

À Rita Castanheira, pelo exemplo, atenção, paciência e carinho que sempre me transmitiu, em todos os momentos, permitindo-me ultrapassar todos os obstáculos.

Ao grupo académico GANK, que me fez conhecer pessoas novas, de cursos diferentes e onde pude viver agradáveis momentos de descontração na companhia de bons amigos.

Queria agradecer também a todos os docentes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pela colaboração prestada ao longo do meu ciclo nesta Escola, especialmente aos docentes do Departamento de Engenharia Electrotécnica pela estreita ligação existente ao longo do curso.

Queria deixar também uma mensagem de agradecimento à EMAC – Empresa de Ambiente de Cascais e à AMARSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A., pela disponibilidade para me receber, e por terem contribuído, assim, para enriquecer este trabalho.

Por fim, a toda a minha família a educação e apoio prestado ao longo de toda a minha vida.

É a todos que dedico este trabalho.

Resumo

Neste trabalho pretendeu-se desenvolver uma infra-estrutura distribuída que dê suporte à recolha de material reciclável diferenciado num meio urbano. Pretendeu-se assim implementar um sistema inteligente de alerta que recolhe a informação do nível de enchimento dos pontos de recolha, vulgarmente conhecidos por ecopontos, e envie essa informação para uma entidade responsável, através das tecnologias de informação. Actualmente, a recolha e transporte de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são feitos de uma forma pouco eficiente, pois quando as equipas de recolha deste tipo de material se deslocam aos respectivos locais para recolher os resíduos, o contentor poderá estar demasiado cheio e com material a transbordar para o chão, ou não estar ainda cheio e a viagem terá sido feita em vão. No primeiro caso, perde-se material e no segundo desperdiça-se tempo e combustível. Com o objectivo de tentar solucionar os problemas de acumulação de material no exterior dos ecopontos, pretende-se ainda incluir no sistema a desenvolver um mecanismo de alerta, no qual os cidadãos informem a ocorrência de uma situação anómala no exterior de um ecoponto. Deste modo, pretende-se obter a participação activa dos cidadãos, no sentido de tornar o depósito, a recolha e o consequente transporte do material recolhido em contentores, um processo o mais eficaz possível, permitindo assim obter uma maior eficiência do sistema, com vista a uma possível redução global dos custos e da degradação dos espaços urbanos.

Ao longo da dissertação serão apresentados conceitos sobre a reciclagem abordando diferentes perspectivas, das quais se destacam a económica, social e a tecnológica. Serão ainda abordados os tipos e sistemas de recolha actualmente existentes, identificando as suas principais vantagens e lacunas.

O principal objectivo deste trabalho é o de criar, especificar e implementar um sistema protótipo inteligente que permita ler a informação lida pelo sensor de ultrassom do valor actual de enchimento de um ecoponto, transmitir essa informação para uma entidade central que processa os dados recebidos, mantendo o seu registo ao longo do tempo, e determina a forma de como o material reciclável diferenciado é recolhido, calcular as rotas óptimas de recolha baseadas no percurso mais curto ou mais rápido.

Palavras-chave: Optimização de rotas, resíduos sólidos urbanos (RSU), Sistema de Gestão Inteligente, sensores, tecnologias de informação.

Abstract

This work aimed to develop a distributed infrastructure that supports the collection of recyclable and separated material in urban areas. The aim is to implement an intelligent alarm system that collects information about the filling present level of the current points of waste collection, commonly known as recycling center, and send that information to a responsible entity, through a communication module GSM / GPRS. Currently, the collection and transportation of municipal solid waste (MSW) are made by an inefficiently way, because when gathering teams of such material are moving to do the job, the container may be too much full and overflowing with material to the ground, or is not full yet and the trip is unsuccessful. In the first case material is lost and in the second fuel is wasted. In order to try to resolve the accumulation of material outside the containers is intended to also include within the system to develop an alert mechanism in which citizens report the occurrence of anomalous situation outside a recycling center. The idea is to make the collection and, consequently, the transport of the material collected in containers, a process as efficacious as possible, allowing for greater system efficiency with a view to a possible reduction in overall costs.

Throughout the dissertation will be presented recycling concepts dealing with different perspectives, mainly economic, social and technological prospects. Will also be discussed types and collection systems currently in place, identifying the main advantages and disadvantages.

The main objective of this work is to create, specify and implement an intelligent prototype system that allows to receive the information read by the ultrasonic sensor of the present value of fulness of a recycling center, as a percentage, transmit that information to a central entity that processes the received data and optimizes the form of how different recyclable material is collected, calculating optimal routes collection based on the shortest or faster path, and recording the received filling levels over time of statistical evidence.

Key-words: route optimization, municipal solid waste (MSW), intelligent management system, filling level sensing

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento geral	1
1.2	Motivação e objectivos.....	1
1.3	Estrutura da dissertação	2
2.	Estado da Arte	5
2.1	Conceitos sobre Reciclagem.....	5
2.1.1.	A perspectiva tecnológica	7
2.1.2.	Perspectiva Social	8
2.1.3.	Perspectiva Económica.....	14
2.2	Sistemas de Reciclagem existentes	15
2.2.1	Exemplos de Sistemas utilizados actualmente	16
2.2.2	Tecnologia/Infra-estruturas de rede para sistemas de reciclagem.....	17
2.2.3	Lacunas existentes nos sistemas actuais	18
2.3	Trabalho relacionado – Estudos realizados	19
2.3.1	Comportamento dos cidadãos na geração e separação de RSU	19
2.3.2	Planeamento da disposição de contentores num sistema em rede	20
2.3.3	Optimização de rotas na recolha de RSU	21
2.3.4	Planeamento geral de rotas num sistema de recolha de RSU	23
2.3.5	Monitoração do nível de enchimento de contentores numa rede de recolha de RSU ..	24
3.	Desenvolvimento de um sistema de gestão para a recolha de material reciclável	27
3.1	Modelação do sistema.....	28
3.1.1	Requisitos funcionais e não funcionais	29
3.1.2	Descrição do sistema a partir de UML.....	31
3.2	Equipamento necessário	36
3.3	Implementação do sistema	44
3.3.1	Arquitectura do sistema.....	44
3.3.2	Componente <i>hardware</i>	45
3.3.3	Componente software e sistema <i>web</i>	49
3.3.4	Verificação de requisitos cumpridos	61
4.	Exploração e validação	63
4.1	Descrição do cenário de aplicação.....	63
4.2	Resultados obtidos	66
4.2.1	Valores da utilização do sistema actual de recolha da EMAC	66
4.2.2	Cenários de aplicação do sistema optimizado proposto.....	67
4.3	Validação do sistema.....	77

5. Conclusões	81
5.1 Síntese do trabalho efectuado	81
5.2 Objectivos concretizados	82
5.3 Trabalho futuro	83
Bibliografia.....	85

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Fluxo dos resíduos desde a recolha até ao seu aproveitamento ou rejeição	7
Figura 2.2 - Rede de tubagens do sistema Envac.....	7
Figura 2.3 - Exemplos de lixeiras sem controlo a céu aberto	9
Figura 2.4 - Aterro controlado.....	10
Figura 2.5 - Água com carga poluente.....	10
Figura 2.6 - Exemplos de sobrelotação dos ecopontos em ambientes urbanos	11
Figura 2.7 - Exemplos de Ilhas ecológicas em ambientes urbanos	11
Figura 2.8 – Tendência da quantidade reciclada em Portugal nos últimos dez anos	13
Figura 2.9 - Quantidade de lixo produzido por cada cidadão em Portugal nos últimos três anos	13
Figura 2.10 - Exemplos dos vários tipos de ecopontos, comuns em ambientes urbanos.....	16
Figura 2.11 - Cobertura mundial das redes GSM.....	18
Figura 2.12 - Evolução do número de trabalhos/estudos sobre optimização de rotas de recolha de RSU.....	21
Figura 3.1 - Exemplo da possível utilização da estrutura do protótipo proposto acoplado a um ecoponto comum;	27
Figura 3.2 - Diagrama <i>Use Cases</i>	32
Figura 3.3 - Diagrama de componentes.....	33
Figura 3.4 - Diagrama de classes.....	34
Figura 3.5 - Diagrama de sequência do software programado no Arduino	35
Figura 3.6 - Placa de desenvolvimento Arduino.....	37
Figura 3.7 - Ambiente de programação Arduino	38
Figura 3.8 - Módulo de comunicação sem fios GSM/GPRS através do modem SM5100B (SparkFun Electronics).....	39
Figura 3.9 - Quad-band Cellular Duck Antenna SMA.....	40
Figura 3.10 - Sensor de ultrassom HC-SR04;.....	41
Figura 3.11 - Esquema simplificado do funcionamento do sensor	41
Figura 3.12 - Estrutura de sensores proposta	42
Figura 3.13 - Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica	43
Figura 3.14 - Solução de alimentação fotovoltaica proposta	44
Figura 3.15 - Desenho geral do sistema proposto.....	45
Figura 3.16 - Esquema de interações e interfaces entre os vários elementos de hardware do sistema	47
Figura 3.17 - Diagrama de fluxo do software programado no Arduino.....	48
Figura 3.18 - Dispositivo protótipo de avaliação de nível de enchimento de um ecoponto desenvolvido	48
Figura 3.19 - Diagrama de fluxo do funcionamento da aplicação servidor	50
Figura 3.20 - Sistema de coordenadas latitude e longitude.....	51

Figura 3.21 - Página inicial da plataforma de gestão	52
Figura 3.22 - Dados de identificação dos ecopontos da rede	53
Figura 3.23 - Exemplo da evolução diária do enchimento de um ecoponto	53
Figura 3.24 - Opções de adição e remoção de um ecoponto ao sistema	54
Figura 3.25 - Página web-based de gestão de circuitos de recolha.....	56
Figura 3.26 - Exemplo da criação de grupos de ecopontos com cinco elementos	58
Figura 3.27 - Página de apresentação da sugestão de rota de recolha.....	58
Figura 3.28 - Exemplo de funcionamento do algoritmo de distância mais curta.....	59
Figura 3.29 - Exemplo de Ilustração do ajuste manual da sugestão da rota de recolha.....	61
Figura 4.1 - Mapa da rede de Ecopontos da EMAC.....	64
Figura 4.2 - Exemplo da página de sugestão da rota de recolha.....	69

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Correspondência entre material reciclável e respectivos pontos de recolha	6
Tabela 2.2 - Materiais reciclados nos últimos dez anos (valores em toneladas)	12
Tabela 3.1 - Requisitos funcionais e não funcionais propostos para o sistema a desenvolver	29
Tabela 3.2 - Especificações técnicas do Arduino	37
Tabela 3.3 - Comparação de características entre redes sem fios	39
Tabela 3.4 - Características eléctricas do módulo SM5100B	40
Tabela 3.5 - Especificações do dispositivo de alimentação fotovoltaica	44
Tabela 3.6 - Modos de funcionamento do microcontrolador do Arduino	46
Tabela 3.7 - Comparação entre tempo de processamento computacional consoante o número de locais utilizando o método “ <i>Salesman Travelling Problem</i> ”	57
Tabela 3.8 - Vantagens e desvantagens de utilização dos algoritmos implementados	59
Tabela 4.1 - Características e turnos de recolha dos veículos da EMAC.....	65
Tabela 4.2 - Valores mensais de quilómetros e combustível dos veículos em 2011	65
Tabela 4.3 - Rotas de recolha de resíduos sólidos urbanos da rede de ecopontos da EMAC	67
Tabela 4.4 - Resultados obtidos na simulação do cenário de aplicação proposto	70
Tabela 4.5 - Números totais obtidos no cenário de aplicação	77
Tabela 4.6 - Comparação de resultados entre os valores mensais do ano de 2011 com o valor mensal obtido no cenário de aplicação	79

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
GSM	Global System for Mobile Communications
GPRS	General Packet Radio Service
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message Service
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
EIA	Eletronics Industries Association
PWM	Pulse-Width Modulation
PIN	Personal Identification Number

Lista de símbolos

E	Energia
I	Corrente
P	Potência
V	Tensão

1. Introdução

Nesta secção será apresentada a motivação e o contexto da alternativa em estudo, bem como os objectivos propostos no âmbito desta dissertação.

1.1 Enquadramento geral

Hoje em dia, estamos numa época em que é absolutamente necessário atender às causas ecológicas de forma a proteger um pouco mais o ambiente. Os recursos naturais do nosso planeta estão a desaparecer e é importante criar soluções que garantam a sua sustentabilidade no futuro. Em 1789, Antoine Lavoisier, foi o primeiro cientista a enunciar o princípio da conservação da matéria com uma frase que o celebrou: ***“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”***. Neste contexto, a reciclagem e a forma como são tratados os RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) tornam-se elementos bastante importantes pois interferem com o nosso ecossistema e podem colocar em risco a continuidade da biodiversidade global.

A reciclagem contribui para a renovação de materiais que, à partida, não teriam mais utilização prática, pois consiste em reaproveitar esses mesmos materiais, para criar novos produtos. Este reaproveitamento permite minimizar a utilização de fontes e recursos naturais, pois a exploração de recursos naturais implica normalmente um processo economicamente mais oneroso e mais pernicioso em termos ecológicos.

Desta forma, e tendo em consideração a crescente preocupação social e política a nível mundial na preservação dos recursos naturais do planeta, pretende-se desenvolver nesta dissertação uma infra-estrutura distribuída, que da forma mais inteligente possível dê suporte à recolha de material reciclável nos seus pontos de recolha, vulgarmente conhecidos por ecopontos, de modo a salvaguardar os interesses, quer da empresa responsável pela recolha dos RSU, quer do ponto de vista social, de forma a não contribuir na criação de “mini lixeiras” nas cidades, aumentando assim a eficiência do sistema, reduzindo custos e contribuindo para uma maior poupança de recursos e preservação do ecossistema global.

1.2 Motivação e objectivos

Como a reciclagem nos dias de hoje é absolutamente vital para a conservação e melhoramento do meio ambiente em que vivemos, o objectivo desta dissertação é desenvolver um sistema de gestão inteligente de uma rede de ecopontos. Actualmente, o transporte e recolha deste material são feitos de uma forma pouco eficiente. Ou seja, quando alguém se desloca para recolher um ecoponto, ou este já se encontra demasiado cheio e com material a transbordar para o chão, ou ainda não está cheio e a viagem terá sido feita em vão. No primeiro caso perde-se material e no segundo desperdiça-se combustível.

Na infra-estrutura protótipo a desenvolver serão instalados diversos sensores de ultrassom que permitem medir o nível de enchimento dos ecopontos. A comunicação da informação, estabelecida entre os vários elementos do sistema, será realizada utilizando a rede GSM disponível no local.

Pretende-se que o sistema monitorize o nível de enchimento de cada ecoponto e envie esse valor para uma unidade de processamento central que recebe a comunicação e informa quando é que o ponto de recolha já está cheio, para que o transporte do material seja efectuado quando se torne mesmo necessário.

Embora este sistema de sensores avalie o nível de enchimento no interior de um contentor de resíduos, não é no entanto possível garantir um controlo do volume de lixo que é depositado no espaço exterior de um contentor. Assim, por vezes, surgem situações de acumulação de lixo em redor de um ecoponto em que não é possível que estes sensores actuem. A ideia proposta para tentar solucionar este problema, consiste em criar um mecanismo de alerta, a partir de um botão de contacto que, uma vez pressionado, informe a unidade central da ocorrência de uma anomalia, seja o depósito de material no exterior de um contentor ou qualquer outra má utilização do mesmo. Este mecanismo permite também que o cidadão participe activamente no sistema de recolha de RSU.

O sistema permitirá, depois, acompanhar a evolução do nível de enchimento de cada ecoponto com base nos valores recebidos. Será ainda implementada uma interface Homem-Máquina que permitirá às pessoas responsáveis consultar a informação recebida via rede GSM dos vários níveis de enchimento, um historial completo da referida informação e calcular rotas óptimas, consoante a situação de recolha pretendida, isto é, recolha do material dos contentores a partir de um nível mínimo, a partir de um intervalo de níveis, entre outras opções.

Em suma, pretende-se desenvolver uma infra-estrutura de baixo custo, capaz de monitorizar em tempo real o nível de enchimento de um ecoponto e alertar a unidade de processamento central do seu valor.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta Dissertação está organizada em cinco capítulos.

O presente capítulo introdutório propõe-se caracterizar o problema a tratar, a motivação e o objectivo principal em criar este sistema.

No segundo capítulo apresentam-se os conceitos mais relevantes sobre reciclagem e as diferentes perspectivas em que a reciclagem pode ser abordada, os sistemas de gestão actualmente existentes, assim como uma revisão literária dos últimos desenvolvimentos nesta área.

No terceiro capítulo será apresentada a proposta da solução para o desenvolvimento do sistema de gestão, devidamente fundamentada perante os requisitos necessários para a sua implementação, considerando os aspectos de *hardware* e *software* a utilizar e desenvolver, respectivamente.

No quarto capítulo apresentar-se-ão todos os pormenores relativos à exploração e validação do cenário de aplicação do sistema desenvolvido e os resultados obtidos.

Por fim, o quinto capítulo apresenta uma síntese do trabalho efectuado, retirando as conclusões finais mais importantes e considerações a ter em conta em trabalho futuro.

2. Estado da Arte

Neste capítulo será efectuada uma revisão da literatura. Serão abordados os conceitos principais sobre a temática da reciclagem.

2.1 Conceitos sobre Reciclagem

Um dos maiores problemas com que nos deparamos actualmente no mundo moderno é o que vulgarmente se designa por lixo. O que fazer e onde colocar os milhares de toneladas de resíduos que diariamente são recolhidas em residências, hospitais, escritórios e empresas tornou-se a principal preocupação nos dias de hoje. Em consequência disso, surgem, naturalmente, riscos para a saúde das populações como, por exemplo, o aparecimento das lixeiras a céu aberto sem controlo e a consequente poluição das águas subterrâneas. Como uma forma de atenuar esses efeitos, o gesto reciclar é visto pelos governos e ambientalistas como uma solução viável para o tratamento dos resíduos resultantes da actividade humana.

Tal como foi dito anteriormente, o conceito principal da reciclagem consiste em reaproveitar materiais, que já foram utilizados ou consumidos, como matéria-prima para criar novos produtos. O termo reciclar surgiu na década de 70, quando as preocupações ambientais começaram a ser tratadas com maior rigor (Tomás P. et al., 2008). A maior parte dos resíduos sólidos urbanos que são produzidos diariamente podem ser reciclados, sendo os exemplos mais comuns o papel e cartão, o vidro, o metal e o plástico.

As vantagens da reciclagem são muitas e em diferentes áreas: ambiental, económica e social. Do ponto de vista ambiental, como a reciclagem minimiza a utilização de fontes naturais, muitas vezes não renováveis, os resíduos voltam para o ciclo de produção, o que evita que os mesmos sejam despejados em aterros, muitas vezes já superlotados. Por exemplo: a reciclagem de uma tonelada de plástico evita a emissão de CO₂ equivalente ao consumo de combustível de 6 automóveis por mês (Sociedade Ponto Verde). Em termos energéticos, fabricar novos produtos a partir de materiais já usados consome menos água e energia do que a partir de recursos naturais.

No campo económico, a reciclagem permite uma utilização mais racional dos recursos naturais, a possibilidade de aumentar as exportações de resíduos e diminuir as importações de matéria-prima por parte das empresas que utilizam essa matéria na produção de novos produtos.

Por último, no campo social, a reciclagem não só proporciona uma melhor qualidade de vida para as pessoas através de melhorias ambientais, como a contribuição para a diminuição de criação de aterros e construção de novas incineradoras, que causam bastantes problemas de poluição atmosférica e são objecto de grande contestação social e política.

Os materiais recicláveis mais comuns são, conforme já referido, o papel, o cartão, o vidro, o metal e o plástico. O papel e o cartão, depois de reciclados, podem dar origem a novo papel para jornais e revistas, impedindo assim o abate de milhares de árvores. O vidro pode ser reciclado e transformado em novas garrafas, poupando assim energia e matéria-prima (Sociedade Ponto Verde,

2010). O metal das embalagens de refrigerantes, o alumínio, permite ser reutilizado continuamente e mantendo as mesmas características, sendo que o alumínio obtido a partir de embalagens usadas permite poupar 95% da energia necessária a partir de matérias-primas minerais (Sociedade Ponto Verde, 2010). A reciclagem de plásticos, por exemplo as garrafas, pode resultar em material para vestuário e/ou pavimentos e mobiliário urbano.

A tabela seguinte ilustra os materiais que devem ser colocados nos ecopontos correspondentes.

Tabela 2.1 - Correspondência entre material reciclável e respectivos pontos de recolha

Vidro	Ecoponto Verde
Depositar: garrafas de água e sumos, garrafas de azeite, garrafões, frascos de doce, boiões, frascos de azeitonas e pickles, garrafas de vinho e cerveja.	
Papel / Cartão	Ecoponto Azul
Depositar: caixas de cereais, papel de escrita, envelopes (não é preciso tirar janelas), caixas de bolachas, cintas de packs de garrafas, papéis de impressão, papel de embrulho, caixas de cartão e ovos, listas telefónicas, cartas, papéis de impressão, sacos de pão de papel, sacos de comida para animais e caixas de pizza (sem gordura).	
Plástico / Metal / Embalagens	Ecoponto Amarelo
Depositar: garrafas e garrafões de água, garrafas de óleos alimentares, embalagens de manteigas e margarinas, garrafas de sumos, sacos de plástico, bisnagas de mostarda e ketchup, garrafas de vinagre, esferovite, garrafas de lixívia, vasos de plástico, frascos de champô, garrafões de óleo de motor, embalagens de detergente e de produtos de higiene, embalagens de iogurtes líquidos e sólidos, filmes plásticos, embalagens de batatas fritas e aperitivos, copos de plástico, sacos de rafia (batatas e cebolas) latas de bebidas, tubos metálicos de pasta de dentes, latas de conserva, caricas, tabuleiros de alumínio, latas de leite em pó, aerossóis vazios, tampas metálicas de champanhe, latas de leite condensado e de fruta, pacotes de leite, pacotes de vinho, pacotes de sumo, pacotes de natas e polpa de tomate.	

É possível esquematizar o processo da reciclagem desde a origem, isto é, a recolha inicial dos resíduos, que se divide em recolha selectiva e recolha indiferenciada. No primeiro caso, os resíduos seguem para o centro de triagem ou para a compostagem. No caso dos resíduos indiferenciados, os mesmos (ainda) seguem para aterros, incineradoras ou compostagem. É no centro de triagem que acontece a maior valorização dos resíduos, uma vez que ocorre uma separação do material que é possível ser reciclado, aproveitado o material orgânico que pode ser valorizado energeticamente, nomeadamente através da produção de biogás, e rejeitados aqueles nos quais não é possível retirar

qualquer proveito. Os resíduos rejeitados seguem para aterros ou são incinerados. A Figura 2.1 ilustra o fluxo da reciclagem desde a recolha até finalizar o processo.

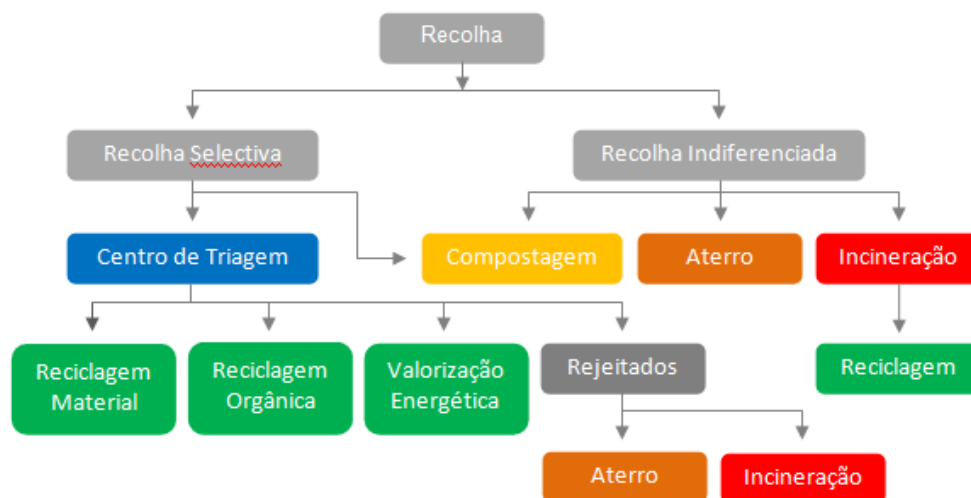


Figura 2.1 - Fluxo dos resíduos desde a recolha até ao seu aproveitamento ou rejeição

2.1.1. A perspectiva tecnológica

Segundo dados da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), em 2010, cada português produziu cerca de 511 quilogramas de lixo, num total de 5,1 milhões de toneladas. No futuro, espera-se que técnicas inovadoras vão condenar os caixotes de lixo e ecopontos actuais à extinção e melhorar a arquitectura urbana, aumentando a eficácia e eficiência dos sistemas de recolha, de forma a um aproveitamento crescente de tais quantidades de lixo produzidas.

Actualmente existe um sistema, criado em 1960 na Suécia e já utilizado em muitas cidades europeias, de recolha de lixo doméstico subterrâneo (ENVAC Portugal, 2010), que, através de vácuo, permite sugar os resíduos das habitações ou dos pontos de recolha até às estações de armazenamento. O trajecto dos resíduos é através de uma rede de tubagens subterrâneas. A Figura 2.2 ilustra o funcionamento deste sistema.



Figura 2.2 - Rede de tubagens do sistema Envac

A utilização de tecnologias de informação e comunicações (TIC) permitem que um sistema de recolha possa funcionar de forma automática, minimizando assim a intervenção humana: é possível centralizar a informação recebida num só local que fica responsável por gerir todo o processo. Através destas tecnologias, os camiões de recolha de resíduos sólidos urbanos apenas se deslocam aos pontos de recolha quando se torna efectivamente necessário, ou seja, quando os mesmos estão cheios ou em sobrelotação. Numa rede centralizada, tal como o nome indica, existe a centralização das tarefas e serviços, permitindo organizar a recolha numa vasta área urbana.

Outro grande passo na modernização dos sistemas de recolha de resíduos actuais é a monitorização do lixo em tempo real. Neste aspecto, a tendência será, cada vez mais, substituir os tradicionais caixotes de lixo e ecopontos de rua por ilhas ecológicas (ECOGEST, 2012). Uma ilha ecológica é um novo sistema de armazenamento de resíduos sólidos urbanos. Segundo a EMAC – Empresa Municipal de Ambiente de Cascais, além de terem mais capacidade de armazenar resíduos do que os sistemas actuais, as ilhas ecológicas também contribuem para uma requalificação dos espaços urbanos.

As toneladas de lixo diariamente produzido podem, por vezes, fazer transbordar os ecopontos e dificultam a sua recolha por parte dos veículos. Através de um sistema de monitorização em tempo real do nível de enchimento dos ecopontos, é possível obter, a qualquer momento e de qualquer ecoponto, o seu respectivo nível de enchimento e assim otimizar a sua recolha e evitar a ocorrência destas situações anormais.

As ilhas ecológicas, que serão estudadas em detalhe na secção 2.1.2, apresentam-se como mais funcionais e facilmente enquadráveis no meio urbano, pois são colocadas em caixas subterrâneas e dotadas de tecnologia de informação para que funcionem activamente num sistema de gestão inteligente de recolha de resíduos. Cada contentor, parte integrante de uma ilha ecológica, terá um sensor ultrassom que permitirá medir o nível de enchimento, sendo essa informação enviada via rede GSM/GPRS com uma regularidade pré-estabelecida para a unidade central responsável pela sua gestão.

Consoante o nível de enchimento recebido, o sistema fará a gestão automaticamente da rota de recolha, evitando paragens desnecessárias. Além de poupar combustível e o respectivo desgaste das viaturas, aumenta a eficiência do trabalho.

2.1.2. Perspectiva Social

Antigamente, a solução para os RSU eram os aterros sanitários e as lixeiras a céu aberto. Um aterro sanitário consiste num espaço de terreno isolado, onde são depositados resíduos domésticos, comerciais, de serviços de saúde e de indústrias (EMAFEL - Empresa Pública Municipal de Ambiente de Felgueiras, E.M.). De uma forma mais negativa, as lixeiras (Figura 2.3) a céu aberto são locais onde não é feito qualquer tipo de controlo ou tratamento dos resíduos nelas depositados, ficando à mercê da natureza e contribuindo para uma deterioração paisagística do local.



Figura 2.3 - Exemplos de lixeiras sem controlo a céu aberto

A existência de lixeiras a céu aberto, depende em grande parte do racionalismo dos produtores de lixo, já que cabe ao bom senso de cada pessoa dar o rumo certo aos resíduos produzidos. Esta forma de depositar resíduos constitui uma ameaça ambiental bastante grave, pois atrai animais indesejados, geralmente ratos e insectos, que são uma fonte de transmissão de doenças. Outro aspecto negativo é o facto de que muitos materiais depositados em lixeiras apresentam uma decomposição lenta, o que torna este processo uma séria ameaça a taludes e linhas de água subterrâneas, que podem ficar contaminadas.

De acordo com a legislação em vigor, com a aprovação do Plano Estratégico Sectorial de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), foi estabelecido em Portugal um conjunto de medidas que permitiram implementar uma política de gestão específica para os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Uma das primeiras medidas consistiu em encerrar, no final da década de 90, todos os locais de deposição ilegal de lixeiras a céu aberto, de modo a evitar que os resíduos fossem deixados ao abandono, despejados ou eliminados sem qualquer tipo de controlo.

Actualmente, o número de lixeiras a céu aberto diminuiu drasticamente, sendo que as mesmas foram substituídas por aterros sanitários controlados (Figura 2.4) em que, ao contrário das lixeiras, é feito um isolamento total dos terrenos onde vão ser depositados os resíduos. Desta forma, e como já foi mencionado anteriormente, um aterro sanitário (IGAMAOT, 2009) é um terreno de grandes dimensões, onde os resíduos sólidos são dispostos em camadas impermeáveis, separados por terra, até o aterro ser fechado e arborizado, de forma a ficar integrado na paisagem. Uma das vantagens dos aterros sanitários, em relação às lixeiras a céu aberto, é a de se conseguir ter um controlo mais efectivo dos resíduos e das águas lixiviantes. Estas águas, resultantes da degradação dos lixos, circulam entre os resíduos podendo contrair uma elevada carga de poluentes, perigosos para a saúde pública e meio ambiente (Figura 2.5).



Figura 2.4 - Aterro controlado

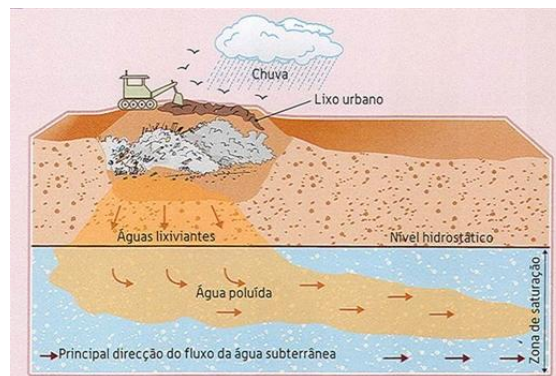


Figura 2.5 - Água com carga poluente

Contrariamente às lixeiras sem controlo a céu aberto, consegue-se obter benefícios energéticos dos aterros sanitários. O gás produzido pela decomposição de matéria orgânica, vulgarmente conhecido por biogás, em vez de contribuir para o agravamento do efeito de estufa, pode ser utilizado na produção de energia que é vendida à rede e disponível para ser utilizada por milhares de famílias. Esta é uma forma de diminuir o impacto ambiental causado pela deterioração dos resíduos e retirar algum benefício económico de material de onde normalmente não se obtinha qualquer proveito.

De acordo com o Eng.º Nuno Oliveira, da AMARSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A., doravante designada por AMARSUL, esta forma de produção de energia está a ser bastante rentável para esta empresa, sendo que o elevado investimento efectuado (cerca de 1,8 milhões de euros) na obtenção deste sistema de aproveitamento energético foi recuperado ao fim de um ano. A energia resultante foi injectada na REN - Rede Eléctrica Nacional e equivale às necessidades de quatro mil famílias. Um sistema de aproveitamento energético a partir de resíduos depositados em aterros, levanta grandes perspectivas de viabilidade no futuro, uma vez que, actualmente, o destino de cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos em Portugal ainda são os aterros sanitários (Comissão Europeia, 2009).

Do ponto de vista social, e até mesmo ambiental, já foi comprovada a forma negativa como os aterros e as lixeiras contribuem para a natureza na deterioração dos diversos ecossistemas. O constante crescimento demográfico e concentração das populações nos grandes centros urbanos, altera, consequentemente, os hábitos de consumo e o desenvolvimento industrial, o que leva à produção de grandes quantidades de resíduos. Os ecopontos actuais não constituem mais que mini lixeiras dentro das cidades. A figura seguinte ilustra um dos problemas resultantes da sobrelotação dos ecopontos actuais.



Figura 2.6 - Exemplos de sobrelotação dos ecopontos em ambientes urbanos

Do ponto de vista estético, os ecopontos tradicionais podem-se tornar numa marca negativa na paisagem de um meio urbano, pois para além dos problemas de sobrelotação, a vandalização de ecopontos também é muito frequente. Como são feitos de material inflamável, ardem com alguma facilidade e, devido à sua utilização diária e constante, danificam-se muito facilmente, além de serem alvo constante dos *graffiters*.

Cada vez mais, se está a procurar uma alternativa em relação aos ecopontos actuais. Conforme abordado anteriormente, as ilhas ecológicas são alternativas viáveis e apresentam inúmeras vantagens em relação aos sistemas actuais. Segundo Luís Marau, do Departamento Técnico e I&D da EMAC – Empresa de Ambiente de Cascais, doravante referida como EMAC, *“As ilhas ecológicas permitem esconder os resíduos em contentores subterrâneos tornando-se assim mais funcionais que os ecopontos que conhecemos. Esteticamente são também mais atractivas e fáceis de enquadrar no meio urbano. Outro factor preponderante na escolha da sua utilização é a grande capacidade de acumular resíduos, contribuindo assim para a diminuição do impacto visual provocados pela sobrelotação. Por serem equipamentos mais higiénicos, uma vez que diminuem a libertação de odores e maus cheiros, têm vindo a ser instalados no concelho para minimizar a natural manifestação de desagrado dos cidadãos em situações negativas resultantes da má utilização dos ecopontos.*

Em termos de custos de recolha, a médio e longo prazo, as ilhas ecológicas permitem otimizar a gestão da frota, através da redução dos consumos e consequentemente no desgaste das viaturas.”

As figuras seguintes ilustram o exemplo de Ilhas Ecológicas instaladas no concelho de Cascais.



Figura 2.7 - Exemplos de Ilhas ecológicas em ambientes urbanos

Embora haja cada vez mais consciência em reciclar e apesar das campanhas de sensibilização que contribuem para uma alteração dos hábitos de consumo das pessoas, ainda há muitos resíduos que

não podem ser reciclados nem ir para aterros. Por este motivo, a incineração é ainda o destino de cerca de 20% dos resíduos diariamente produzidos (Comissão Europeia, 2009).

A incineração, que significa “reduzir a cinzas, queimar completamente”, do latim “*incinerare*”, é um processo para destruir resíduos que não podem ser reciclados ou aproveitados, por exemplo, para a produção de biogás ou outro material com valor. Este processo consiste numa destruição térmica do lixo através da combustão a temperaturas bastante elevadas. Tem como vantagens reduzir o volume dos resíduos em cerca de 90 por cento e o peso em cerca de 70% e destruir microrganismos patogénicos prejudiciais à saúde. Este processo de destruição térmica de resíduos tem sido a solução adoptada para grande parte dos resíduos hospitalares e industriais, perigosos para a saúde, produzidos diariamente.

Embora o processo de incineração tenha as suas inequívocas vantagens, tem também as suas desvantagens, sendo alvo de grande contestação social aquando da construção das suas estações de tratamento, constituindo uma enorme ameaça ambiental para as populações que residem próximo delas, pois emitem gases e toxinas poluentes para a atmosfera e que são nocivos à saúde pública. Actualmente, as novas tecnologias à base de filtros permitem controlar os gases emitidos, minimizando estes riscos para a população.

Devido à grande controvérsia e contestação social à volta das centrais incineradoras sobre os seus benefícios e malefícios, existem directivas europeias que impõem normas relativamente à incineração destes resíduos (União Europeia, 2009).

Cada vez mais as pessoas estão-se a consciencializar de que é preciso reciclar. Na Europa, 17% dos resíduos já estão a ser reciclados (Comissão Europeia, 2009). De acordo com os dados da Sociedade Ponto Verde, em Portugal, a quantidade de material reciclado está a aumentar de ano para ano. A Tabela 2.2 ilustra o crescimento nos últimos dez anos da quantidade dos principais materiais reciclados.

Tabela 2.2 - Materiais reciclados nos últimos dez anos (valores em toneladas)

	Vidro	Papel e Cartão	Plástico	Metal	Total
2001	68.275	71.546	10.870	19.493	170.183
2002	75.681	79.692	15.151	20.344	190.867
2003	91.141	88.680	20.534	14.670	215.024
2004	105.911	119.031	26.018	14.979	265.939
2005	120.917	164.473	32.114	24.926	342.431
2006	133.292	165.013	24.860	31.200	354.365
2007	151.911	217.343	33.396	35.568	437.420
2008	168.215	247.067	53.436	37.855	506.573
2009	181.127	291.815	62.015	36.944	571.901
2010	191.681	324.551	65.080	46.244	627.556
2011*	201.867	290.261	66.116	45.275	603.519

* até 30 Novembro

No gráfico apresentado na Figura 2.8, consegue-se constatar da melhor forma como a consciência e a posição das pessoas em relação ao acto de reciclar está a mudar em Portugal, o que resulta no aumento do número de toneladas de material reciclado ano após ano.

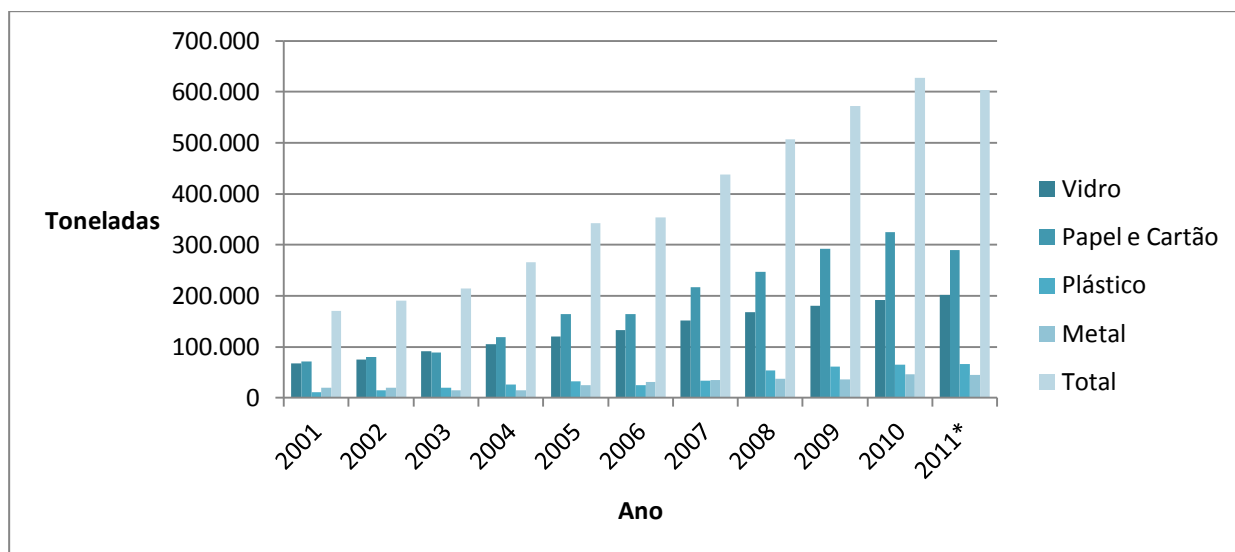


Figura 2.8 – Tendência da quantidade reciclada em Portugal nos últimos dez anos

Tal como ilustra a figura anterior, a quantidade de material reciclado em Portugal nos últimos 10 anos está a aumentar, o que faz acreditar que o gesto de reciclar está cada vez mais presente no quotidiano das pessoas. No entanto, este aumento pode também corresponder a uma alteração da quantidade de lixo produzido por cada cidadão. O gráfico da Figura 2.9 mostra os quilogramas de lixo produzido por cada cidadão em Portugal, nos últimos três anos.

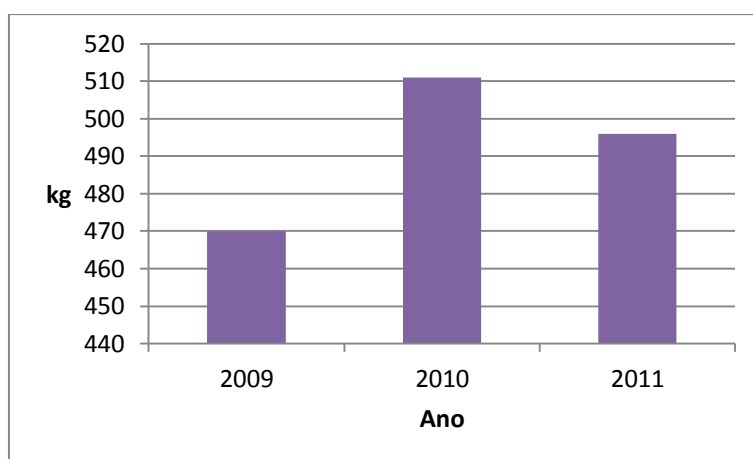


Figura 2.9 - Quantidade de lixo produzido por cada cidadão em Portugal nos últimos três anos

Nesta figura, é possível constatar um aumento substancial, na ordem dos 40 quilogramas, da quantidade de lixo produzido no ano de 2009 para o ano de 2010. Por outro lado, os números de 2011 não acompanham a tendência de crescimento até então verificada, porque, de acordo com as

várias empresas de recolha e tratamento de resíduos, esta diminuição deve-se à redução no consumo inerente ao contexto actual de crise económica. Para esse ano, a redução dos hábitos de consumo corresponde à respectiva quantidade de lixo produzido. Esta redução, na ordem dos 4% do lixo produzido, ocorreu principalmente nas regiões do Porto, Centro, Oeste e Grande Lisboa.

2.1.3. Perspectiva Económica

Conforme foi referido, até há poucos anos, os resíduos sólidos urbanos não eram alvo de qualquer tipo de tratamento ou aproveitamento. O lixo e os resíduos produzidos eram despejados em aterros e/ou lixeiras onde, posteriormente, entravam em decomposição. Este processo era absorvido pela natureza sem qualquer tipo de controlo, causando bastantes problemas sociais e ambientais.

Actualmente, este cenário indesejado alterou-se e já começa a ser possível retirar benefícios económicos do tratamento do lixo e resíduos sólidos, nomeadamente quando estes são depositados nos ecopontos dos espaços urbanos. Após uma revolução no planeamento e gestão dos resíduos, hoje o lixo cria postos de trabalho, contribui para o aumento da produção nacional e ajuda a equilibrar a balança comercial do país, pois permite reduzir a quantidade de matéria-prima não reciclada que é importada.

Em qualquer actividade económica, um dos principais custos a ter em conta são os gastos de uma empresa em matéria-prima, essencial para a criação e transformação em novos produtos. Para as empresas de reciclagem responsáveis pela recolha e tratamento de resíduos sólidos urbanos, surge assim um grande incentivo: o custo zero da matéria-prima. Para uma empresa de tratamento de resíduos, a sua matéria-prima são os resíduos que os cidadãos geram e depositam todos os dias nos habituais contentores, sendo apenas necessário assegurar o transporte do local onde estão instalados os ecopontos para o centro de triagem da empresa. Estima-se que cada cidadão produza, actualmente, mais de 500 kg de lixo por ano (Expresso.pt, 2011). De acordo com a história, sempre se reciclou mais em tempo de crise e menos em tempo de abundância. Pode-se assim assumir que a reciclagem está inteiramente associada aos hábitos de consumo das populações consoante a sua disponibilidade no poder de compra. A revolução industrial, iniciada em Inglaterra em meados do século XVIII, permitiu a produção em massa, logo o lixo aumentou e a reciclagem diminuiu. Esta relação pode ser explicada devido à grande quantidade de lixo produzido, resultante do fabrico de muitos produtos num curto espaço de tempo e a pouca preocupação com a reciclagem, devido à necessidade de gerar rápidas receitas dos produtos produzidos.

A produção de biogás, mistura gasosa resultante da decomposição de matéria orgânica do lixo urbano na ausência de oxigénio, surge como uma fonte de receitas económicas bastante rentável para as empresas de reciclagem, uma vez que a energia resultante do processo é injectada e vendida à rede, sendo o investimento inicial da central de aproveitamento recuperado em poucos meses.

Segundo dados da AMARSUL, publicados no portal da Câmara Municipal do Seixal:

- Cada tonelada de RSU gera cerca de 105 m³ de biogás;

- Por cada m³ de biogás é gerado 1,7 kWh;
- Produção de energia prevista no total de três células entre 2008 e 2020: 2.200 kWh;
- Consumo médio anual de energia eléctrica de uma família: 3.000 kWh;
- Produção de energia em 2004: 13.600 MWh (suficiente para 4500 famílias durante um ano, o que equivale a 10% da população do Concelho do Seixal)
- Produção de energia em 2008: 17.600 MWh (suficiente para 5900 famílias durante um ano)

Mas não só do biogás é possível obter receitas económicas provenientes do lixo. A separação e o tratamento dos RSU também proporcionam dividendos significativos. A VALORSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste S.A. é a empresa responsável pelo tratamento e valorização de Resíduos Sólidos Urbanos produzidos em 19 Municípios da Grande Lisboa e Região Oeste. Segundo dados publicados no seu portal, a energia produzida através do lixo permite evitar a importação de combustíveis fósseis, nomeadamente petróleo.

Na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da VALORSUL, 57% do lixo recebido é incinerado, sendo que o calor resultante do processo é transferido para um circuito de água/vapor, em que a produção de vapor de água produz energia eléctrica através de um sistema turbogerador. Esta unidade, em 2009, produziu 343 GWh, tendo sido injectada na Rede Eléctrica Nacional a potência de 294 GWh.

Da separação e tratamento do vidro, papel e cartão, metal e das embalagens também a VALORSUL obtém importantes receitas. A venda destes materiais recicláveis aumentou em 16%, de 2008 para 2009. Do papel e cartão usado é possível obter pasta de papel para criar papel reciclado, de uma tonelada de vidro utilizado consegue-se obter uma tonelada de vidro reciclado. O alumínio é passível de ser continuamente reciclável, sendo que a energia necessária para este processo, comparando com o processo de recurso a matérias minerais, é somente de 5% (Sociedade Ponto Verde, 2010). As embalagens separadas são muitas vezes vendidas. A partir delas, é possível criar filme rígido que é geralmente exportado para outros países e normalmente utilizado para produzir material mobiliário urbano ou, mais recentemente, vestuário.

2.2 Sistemas de Reciclagem existentes

Embora o processo de reciclagem seja uma importante fonte de receitas no reaproveitamento de materiais utilizados como matérias-primas para novo material, reduzindo a energia necessária para criar novos produtos a partir de recursos naturais, a verdade é que ainda é possível fazer mais e melhor neste segmento. Neste capítulo serão abordados os sistemas actuais de reciclagem e projectos realizados neste sector.

2.2.1 Exemplos de Sistemas utilizados actualmente

Nos dias de hoje, é possível identificar as diversas partes que integram, geralmente, um sistema de recolha de resíduos sólidos urbanos. Normalmente, existe uma empresa, que pode ser municipal ou privada, que é responsável pela gestão do funcionamento de uma rede de ecopontos, isto é, contentores instalados fisicamente numa determinada região ou zona, e tem como obrigação fazer a recolha periódica do material através de viaturas especializadas. Devido à necessidade de aproximar os contentores dos cidadãos, para que a distância não seja um motivo de desencorajamento a separar e reciclar o lixo, é bastante comum encontrar e aceder de forma fácil aos ecopontos em qualquer meio urbano. É ainda da responsabilidade da empresa uma análise do número e tipo de ecopontos que devem ser instalados para que possam corresponder às necessidades da população, ou seja, há que ter em conta os hábitos da população e assegurar que o número de ecopontos instalados é o recomendável para uma determinada região.

A Figura 2.10 ilustra vários sistemas de contentores utilizados actualmente para depósito de resíduos.



Figura 2.10 - Exemplos dos vários tipos de ecopontos, comuns em ambientes urbanos

Numa abordagem futura de evolução, estes sistemas têm vindo a ser substituídos por outros sistemas de armazenamento que apresentam mais vantagens, que são as chamadas ilhas ecológicas. Estas ilhas ecológicas disponibilizam maior capacidade para receber os RSU e ainda acrescentam qualidade social ao espaço urbano onde estão inseridas, pois eliminam o conceito de mini lixeira que surge quando a capacidade dos ecopontos actuais está acima do seu limite.

No que diz respeito ao procedimento de recolha dos resíduos sólidos urbanos, o mesmo é feito, quer num sistema de ecopontos quer num sistema de ilhas ecológicas, pela equipa de recolha em veículos de transporte de carga apropriados. Os mesmos deslocam-se aos diversos pontos existentes numa cidade ou município e fazem a recolha dos ecopontos, qualquer que seja a quantidade de lixo depositado. Desta forma, não há nenhuma optimização no processo, pois os resíduos são recolhidos, quer o ecoponto esteja, ou não, preenchido na sua capacidade máxima. Este sistema tem vindo a ser utilizado desde o início, não sendo alvo de nenhuma evolução até aos dias de hoje.

Numa perspectiva de optimização de rotas, segundo Luis Marau, da EMAC, actualmente a empresa utiliza um sistema de análise “a olho”, por parte da equipa de recolha, do nível de enchimento dos diversos ecopontos, pela qual a EMAC é responsável. A equipa faz-se acompanhar de um PDA, no qual registam o nível de enchimento com base numa percentagem e a data correspondente à verificação, sendo a informação posteriormente descarregada num sistema central que a recebe e organiza. Embora a partir deste sistema seja possível obter uma informação estatística da actividade de recolha, não é uma operação fiável, uma vez que está dependente, na sua origem, de uma acção humana. Neste mecanismo de avaliação por parte da equipa de recolha, é possível que ocorram imprecisões por parte da pessoa que a executa, pois assenta em padrões difíceis de discernir e está sempre sujeito a constantes alterações de rotina, de hábitos de trabalho ou do cansaço da pessoa que realiza a acção. Numa determinada tarefa de avaliação, é possível que ocorra um diferente juízo e interpretação da mesma situação por pessoas diferentes. Desta forma, é possível classificar este processo por pouco coerente e responsável, por depender tempo de trabalho por parte das pessoas que fazem o processo comum de recolha de resíduos. Por parte da AMARSUL, o Eng.º Nuno Oliveira refere que não existe nenhum sistema informático de monitorização da capacidade dos ecopontos aquando da recolha pelos dos camiões, sendo que o referido processo é feito da mesma forma desde o início.

2.2.2 Tecnologia/Infra-estruturas de rede para sistemas de reciclagem

Na criação de uma infraestrutura em rede para a recolha de resíduos, como parte inicial do ciclo da reciclagem, existem aspectos a ter em conta, desde o início do processo. Assim, conseguir a melhor distribuição dos ecopontos pelas localidades, tendo como objectivo alcançar um número máximo de cidadãos, torna-se fundamental na idealização de um sistema de recolha de resíduos sólidos. A escolha da localização dos ecopontos, o seu número e tipo, centra-se essencialmente na densidade populacional das regiões, mas também nos locais em que seja mais fácil a recolha dos ecopontos por parte dos veículos. Depois de distribuídos por uma determinada região, os ecopontos são distinguidos por um código e são associados a uma determinada rota, sendo definidos os horários e o(s) veículo(s) de recolha. Desta forma é possível, por parte da empresa municipal, definir qual ou quais os ecopontos a recolher em determinada rota, com base no nível de enchimento anteriormente verificados.

No que diz respeito à tecnologia utilizada nos sistemas de reciclagem, actualmente, são utilizadas ferramentas que permitem calcular, por métodos probabilísticos, qual o nível de enchimento de um determinado ecoponto a partir de registos anteriores e assim definir qual a rota a seguir pelos veículos. No entanto, de acordo com Luís Marau da EMAC, a empresa utiliza outra forma de realizar a operação de recolha. Num dia específico da semana, os veículos visitam todos os ecopontos de uma rota, fazem a recolha de um determinado tipo de resíduo sólido e observam o nível de enchimento de um outro tipo, registando esse valor. No dia seguinte, fazem a recolha desse tipo, consoante o valor registado na véspera. Este processo, à partida, parece ser bastante ineficiente.

Na literatura disponível, pode constatar-se que existem ainda poucos estudos em que tecnologias de informação e comunicação são utilizadas para integrar, no próprio contentor de resíduos, um módulo electrónico que permita calcular e informar uma entidade central sobre o actual estado de capacidade de um ecoponto, pelo que esta dissertação vem contribuir para suprimir esta lacuna. A utilização de tecnologias sem fios é actualmente muito importante, uma vez que é a tecnologia de comunicação móvel mais popular no mundo, estando amplamente difundida e com excelente cobertura, como é possível constatar na Figura 2.11.

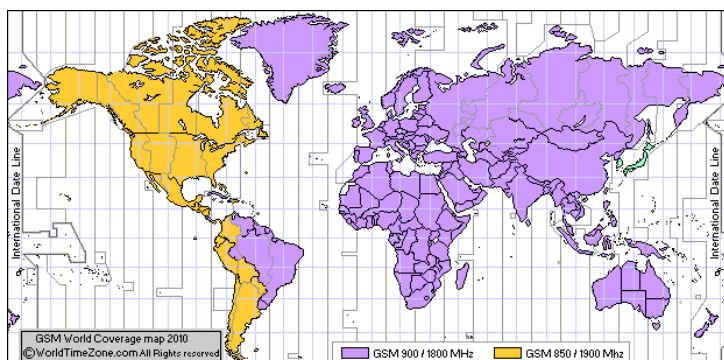


Figura 2.11 - Cobertura mundial das redes GSM

2.2.3 Lacunas existentes nos sistemas actuais

Embora os sistemas de reciclagem actuais funcionem da forma esperada, segundo as empresas consultadas, é possível ainda assim encontrar algumas lacunas e propor correspondentes soluções. Entre as lacunas identificadas, comprovou-se um claro défice na utilização de tecnologias de informação como uma mais-valia nos processos de optimização que envolvem, essencialmente, a manutenção de um sistema de reciclagem comum. Conforme dito anteriormente, a recolha do material dos diversos ecopontos de uma rede é feita com a deslocação de uma equipa ao local, mesmo quando por vezes o nível de enchimento do ecoponto ainda não justifique a sua recolha. Neste caso particular, existe um claro desperdício de tempo e de combustível. Por outro lado, como as equipas de recolha não possuem qualquer indicação do estado de cada ecoponto, é possível que em algumas situações ocorra uma súbita sobrelotação da capacidade de um ecoponto e da sua envolvente. Esta situação indesejada contribui significativamente para uma degradação do espaço social que envolve os ecopontos, pois muitas vezes os resíduos acumulam-se em redor dos mesmos, causando a libertação de maus odores e levando a um descontentamento generalizado por parte das pessoas que utilizam o espaço.

Outro problema diz respeito aos contentores onde os resíduos sólidos são depositados pelos cidadãos: os ecopontos actuais são muitas vezes alvo de violação por parte dos *grafitters* ou incendiados, devido a cinzas depositadas. A solução para este problema tem vindo a ser solucionada com a implementação de novos contentores, subterrâneos, já abordados anteriormente.

2.3 Trabalho relacionado – Estudos realizados

Os sistemas de gestão de RSU requerem, por parte dos municípios, uma especial atenção aquando da sua idealização e mesmo na sua posterior manutenção. Em trabalhos de investigação desenvolvidos e publicados até à data sobre o tema desta tese, é possível encontrar várias referências que permitem dividir os estudos efectuados em quatro áreas inseridas na temática de recolha de RSU e que serão descritas em seguida.

Existem estudos que dão particular importância ao comportamento populacional na abordagem de separar os RSU entre resíduos diferenciados ou não diferenciados e recicláveis ou não recicláveis. Os diferentes tipos de contentores para depósito de resíduos e a forma como a população encara o problema, tem uma particular importância no sucesso de um sistema de recolha de RSU, como o descrito. Outra variável importante a considerar, e já alvo de análise por parte dos investigadores, é a forma como os resíduos são transportados. Em Portugal e na Europa, a via de transporte mais comum é a terrestre, embora haja referências na literatura a outras vias de transporte (Tchobanoglous et al., 1993). É na área do transporte de resíduos que se concentram grande parte dos estudos já realizados, uma vez que a procura de uma solução otimizada em termos de custos, distância e consumo de combustível tem sido um objectivo de diversa análise e discussão. Do ponto de vista ambiental, a procura de uma solução otimizada também no consumo de combustível e a emissão de gases poluentes tem sido cada vez mais tida em consideração.

2.3.1 Comportamento dos cidadãos na geração e separação de RSU

A geração de resíduos sólidos sempre esteve inteiramente relacionada com o crescimento demográfico e com o poder de compra, não só de forma quantitativa mas também qualitativa (Denninson et al., 1996a), especialmente nos grandes centros urbanos.

Identificado o problema, a reciclagem surge, tanto no Plano Nacional de Política de Ambiente (Correia et al., 1995) como no Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (Lobato Faria et al., 1997), como uma das principais orientações para resolver o problema dos resíduos urbanos. A implementação de acções de educação ambiental da população é defendida em ambos os programas no sentido de fomentar mudanças comportamentais que conduzam a uma maior consciencialização ambiental para o problema e que fomentem uma maior participação e co-responsabilização, desde a escolha do produto até à sua deposição e destino final (Gonçalves e Painho, 1997). Desta forma, os consumidores devem ser encorajados a comprarem produtos reciclados e a depositarem-nos de forma selectiva, de forma a completar todo o ciclo da reciclagem (Waite, 1995). No entanto, tem-se observado uma certa inconsistência na participação da população na elaboração de um programa de reciclagem, dado que o mesmo programa pode gerar grande entusiasmo num local e falhar completamente noutro (Howenstine, 1993). Mais recentemente, foi estudado que taxas de depósito de resíduos indiferenciados, cobradas à população, podem funcionar como incentivo à redução na geração de resíduos e ao aumento da participação e sensibilização da população em programas de reciclagem (Dahlén e Lagerkvist, 2010).

Embora exista uma consciencialização globalizada para a participação das pessoas na reciclagem, num estudo realizado na Europa, Denninson (et al 1996b) verificou-se que existe uma relação inversa entre o tamanho do agregado familiar e a quantidade de resíduos gerados *per capita*. Esta observação ganha especial preocupação tendo em conta que o tamanho médio dos agregados familiares está, regra geral, a decrescer. No sentido de incentivar e aproximar a população, a recolha diferenciada de RSU pode ser feita porta a porta, através de contentores de recolha selectiva de resíduos, em meios populacionais ou em centros de depósito. O principal objectivo deste programa é a acessibilidade, uma vez que a distância no acesso aos contentores pode condicionar de forma determinante a participação da população em esquemas de recolha diferenciada (Sidique et al., 2010) assim como a variedade de materiais dispostos para a reciclagem existentes a seu alcance.

Outro factor que tem sido alvo de estudo é a frequência de recolha de resíduos, tanto os recicláveis como os orgânicos indiferenciados. Uma diminuição na frequência destes últimos parece beneficiar a recolha selectiva (Wilson e Williams, 2007). No entanto, este ponto é controverso quando confrontado com a opinião pública, pois a população é relutante em compactuar com uma diminuição na frequência com que os resíduos, sejam recicláveis ou orgânicos indiferenciados, são recolhidos. Segundo demonstraram Han et al. (2010), esta alteração levanta questões desagradáveis, tais como a falta de espaço nos contentores, com material a transbordar para o chão, e o consequente aparecimento de odores associados à presença de resíduos em decomposição, o que degrada significativamente os espaços e a paisagem urbanística.

2.3.2 Planeamento da disposição de contentores num sistema em rede

Embora o planeamento da disposição de contentores não seja o foco essencial do tema desta dissertação, importa referir que o tema tem uma importância crucial no contexto de tornar acessível o depósito dos RSU aos cidadãos.

De acordo com a literatura, existem estudos que abordam qual o melhor desenho e implementação a tomar na criação de sistemas de gestão de resíduos sustentáveis. Conforme referido anteriormente, a maior parte da matéria-prima utilizada na produção de papel, plástico e vidro provém de fontes naturais, muitas delas não renováveis e cuja extracção pode requerer grandes quantidades de energia. Desta forma, tem ultimamente surgido uma crescente preocupação política e social no sentido da criação de sistemas sustentáveis baseados numa maior participação da comunidade (Weingberg et al., 2000). O sucesso da criação de um sistema sustentável de gestão de resíduos depende, em grande parte, da participação activa dos cidadãos, como partes integrantes do processo (Thampi e Namboodiri, 2007).

De forma a planear as redes de recolha de RSU, as empresas de ambiente recorrem a programas informáticos que contêm a informação geográfica da região onde a rede será implementada. Actualmente, são utilizadas estratégias de planeamento baseadas em ferramentas matemáticas computadorizadas, que permitem calcular qual a melhor localização para os contentores na rede da empresa responsável pela recolha. No âmbito desta última, os SIG (Sistemas de Informação Geográfica) (Chang e Wei, 1999; Zamorano et al., 2009) são particularmente utilizadas e

podem aplicar-se, não só à respectiva distribuição geográfica dos contentores, mas também à sua caracterização em termos de capacidade e forma. Existem pesquisas (Chalkias e Lasaridi, 2008) que abordam a eficiência de sistemas de gestão de resíduos municipais baseados em ferramentas GIS, comprovando-se a obtenção de poupanças significativas especialmente em termos de tempo de viagens (18%), o consumo de combustível (13,8%) e emissões de CO₂ (12,7%).

Alguns trabalhos referem que na modelação de um sistema de rede de ecopontos baseado em GIS, deverão ser consideradas variáveis como dados históricos pontuais sobre os hábitos dos cidadãos, a densidade populacional no local ou ainda a sazonalidade na participação da população na reciclagem. Estes trabalhos sugerem que a distribuição dos contentores de recolha selectiva não deverá ser, regra geral, um processo definitivo, sendo muitas vezes alterado ao longo do tempo. A disposição física dos contentores, que, segundo a literatura, apontam para uma distribuição uniforme dos mesmos, está também relacionada com um conjunto de factores sociais, culturais, económicos e educacionais que conduzem a diferentes atitudes, quanto à sensibilização no depósito de resíduos e perante a reciclagem (Mgaya e Nondek, 2004).

2.3.3 Optimização de rotas na recolha de RSU

No contexto de criar um sistema de gestão de rotas eficiente, o objectivo principal passa por definir qual a melhor rota a escolher, ou seja, aquela que economize as despesas e minimize o mais possível o tempo de recolha. Assim, os próprios algoritmos de optimização utilizados na elaboração de rotas de recolha de contentores de RSU têm sido alvo de constantes estudos ao longo dos tempos, conforme ilustrado na Figura 2.12 - Evolução do número de trabalhos/estudos sobre optimização de rotas de recolha de RSU, que apresenta a tendência dos estudos sobre o tema desde 1995 (Jeroen Beliën, Liesje De Boeck, Jonas Van Ackere, 2011).

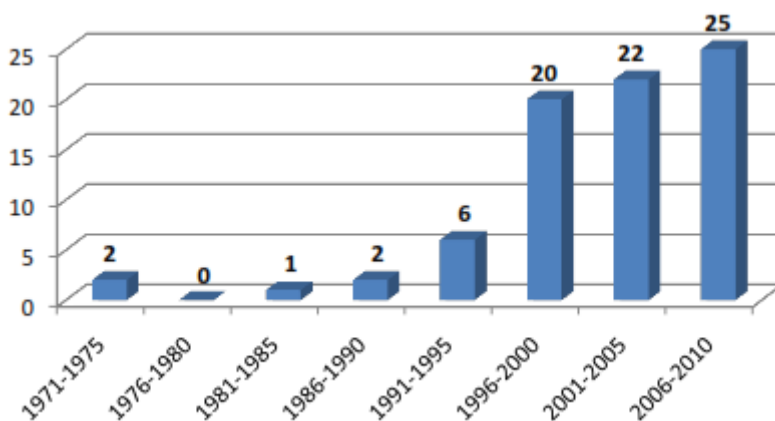


Figura 2.12 - Evolução do número de trabalhos/estudos sobre optimização de rotas de recolha de RSU

Conforme se observa na figura anterior, comprova-se um acréscimo substancial destes estudos, na ordem dos 75%, a partir da segunda metade da década de 90, que representa a altura a partir da qual o problema começou a ser discutido com maior interesse, devido também à aplicação de normas e de metas para a reciclagem por parte da União Europeia.

Tal como se tem vindo a referir, um dos aspectos mais importantes no processo de optimização de rotas por parte da frota de pesados de uma empresa municipal é, sem dúvida, o aspecto económico. Todos os anos, estima-se que as empresas municipais gastem mais de 75% do seu orçamento para a recolha dos RSU (Shamshiry et al., 2011). A escolha da melhor localização para os contentores, é um dos aspectos que tem repercussões importantes nestes custos. Distintas localizações vão influenciar na determinação do caminho mais curto a cumprir na recolha dos contentores da rede. Os custos associados às deslocações dos veículos automóveis, que efectuem a recolha dos diversos contentores, e a sua possível diminuição têm sido constantemente abordados e estudados nessa literatura. Existem estudos dedicados exclusivamente a este tema (Santos e Rodrigues, 2003; Teixeira et al., 2004). Inerente aos custos das deslocações dos veículos que fazem a recolha dos resíduos, surge também o objectivo de encurtar distâncias, o tempo de transporte e ainda a minimização de mão-de-obra para efectuar o trabalho de recolha (Beliën et al., 2011).

Do ponto de vista ambiental, outro factor associado à recolha dos contentores, tem sido a emissão de gases poluentes, incluindo os gases de efeito de estufa para a atmosfera, inerentes com o consumo de combustível (Armstrong e Khan, 2004). Embora grande parte dos estudos realizados não se foquem neste factor, o mesmo produz efeitos nocivos para o ambiente e também comportam custos para a entidade responsável pelas viaturas de recolha (Sonesson, 2000).

Para além do objectivo principal de minimizar distâncias entre os diversos pontos de recolha, surgem na literatura outras variáveis que podem ser alvo de optimização e que muitas vezes não são tidas em conta, entre as quais, a dimensão da rota e o balanceamento da carga transportada pelos veículos (Byung-In Kim, Seongbae e Sahoo, 2005).

O planeamento de rotas de recolha de resíduos e a procura pela solução mais optimizada pode ser resolvido recorrendo a métodos matemáticos (exactos), a métodos heurísticos ou métodos de simulação (Beliën et al., 2011). Os métodos exactos, geralmente permitem encontrar uma solução óptima quando a mesma existe, mas têm como desvantagem utilizar excessivos recursos computacionais. Contrariamente, os métodos heurísticos permitem alcançar uma solução o mais próximo possível da solução óptima em problemas de pouca complexidade, ou quando não é possível obter a solução óptima.

Na literatura é possível encontrar várias referências que recorrem a métodos heurísticos para resolver os Problemas de Optimização de Rotas de Veículos (Vehicle Routing Problem, VRP) aplicados não só ao caso da recolha de resíduos sólidos urbanos, mas também para o caso de transporte geral de mercadorias (Helene Martine Overløf, Allan Larsen, Stefan Ropke, 2009). Adjacente aos métodos heurísticos, grande parte dos estudos realizados integra o método com Sistemas de Informação Geográfica que permitem obter uma perspectiva gráfica do problema em questão (Santos e Rodrigues, 2003; Anghinolfi et al., 2011; Teixeira et al., 2004, Tarantilis et al, 2002).

Inerente a qualquer método sugerido e como necessidade fundamental, surgem algoritmos matemáticos que servem como suporte à modelação e funcionamento de qualquer sistema. Quer seja associado a métodos heurísticos (Reinaldo S. Xavier et al., 2008), em combinação com outros algoritmos (Byung-In Kim et al., 2005) ou ainda como suporte a ferramentas GIS (Tarantilis et al.,

2002). Por exemplo, o algoritmo de Dijkstra é bastante utilizado em sistemas de roteamento de pacotes em redes de telecomunicações e pode ser usado no cálculo dos caminhos mais curtos. Este método foi concebido pelo holandês Edsger Dijkstra em 1956 e é actualmente o mais utilizado para cálculo de caminho de custo mínimo entre vértices de um grafo (Schulz F. et al., 1999). Após definir um vértice como raiz da procura, este algoritmo calcula o custo mínimo deste vértice para todos aqueles vértices do grafo. O processo repete-se em cada vértice do grafo.

Como referido anteriormente, o algoritmo de Dijkstra procura a solução exacta para a resolução do problema matemático a que é colocado. No entanto, muitas vezes não se consegue obter a solução exacta e é preciso encontrar a solução que mais se adequa, a solução possível. O algoritmo A*, concebido em 1968, é vulgarmente utilizado na área científica na procura de um caminho passável através de pontos de um mapa, até um determinado destino utilizando técnicas heurísticas, e assim obter uma melhor performance em termos de tempo. O modelo determina a melhor solução possível, dentro das soluções encontradas (Seet B. et al, 2004).

2.3.4 Planeamento geral de rotas num sistema de recolha de RSU

Anteriormente abordaram-se os métodos mais significativos na obtenção de rotas optimizadas para a recolha de RSU. Em geral, o planeamento para a recolha dos resíduos requer a distribuição física dos respectivos contentores e o seu nível actual de enchimento. No entanto, podem existir outros parâmetros relevantes no processo, tais como a inclusão de estações intermédias de depósito de resíduos sólidos indiferenciados (Kulcar, 1996) ou estações para diferenciação de resíduos (Simonetto e Borenstein, 2007).

Os modelos analisados podem ser divididos em estáticos e dinâmicos. Um exemplo de um método dinâmico é o proposto por Lelah et al. (2010), em que um grupo de Pequenas e Médias Empresas (PME's) trabalha em conjunto, como partes integrantes de um sistema supervisionado por uma entidade central. Neste modelo, cada empresa recebe a informação do nível de enchimento dos contentores medido por sensores via GSM em tempo real. O estudo em questão foi aplicado ao caso da recolha do vidro. Dentro dos métodos dinâmicos, existem ainda modelos preditivos para o agendamento das rotinas de recolha de transportes baseado em dados obtidos anteriormente (Johansson, 2008).

Comparativamente aos métodos estáticos, que requerem maiores recursos, concluiu-se que os métodos dinâmicos permitem custos de operação mais baixos e uma poupança ao nível de energia e consequentes emissões de gases quando aplicado a sistemas grandes e densos, caso contrário não tem grandes benefícios (Johansson, 2008). Na literatura, predominam as referências para sistemas dinâmicos no caso da recolha de RSU em relação a sistemas estáticos. Nesta tese vai ser abordada uma solução dinâmica para o problema de planeamento de rotas.

Entre os diversos modelos abordados, revela-se em muitos deles o recurso a ferramentas informáticas SIG que permite cruzar informação e obter uma visão gráfica do planeamento pretendido e que resulta em decisões mais sustentadas e informadas, no caso em que esta integração não é possível. Dentro dessas ferramentas destacam-se o ESRI© ArcGIS, que surge como um sistema

para gerir, analisar e mostrar informação geográfica representada por estruturas de dados genéricos que modelam a geografia, e uma solução *open-source*, o MapWindow© GIS.

Em suma, qualquer que seja o sistema envolvido, o planeamento tem em consideração todos os aspectos inerentes ao processo, desde o menor custo, a menor distância ou menor consumo, a relação entre eles, o impacto ao nível ambiental, económico e social e, na procura de um sistema sustentável de gestão de resíduos sólidos urbanos (Thampi e Namboodiri, 2007), o envolvimento da população.

2.3.5 Monitoração do nível de enchimento de contentores numa rede de recolha de RSU

Nos tópicos anteriores estudou-se todo o processo de criação de um sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, desde a distribuição física dos contentores que vão receber os resíduos pelo espaço urbano, passando pela revisão de algoritmos que permitem otimizar ou melhorar rotas de recolha, tendo em conta a minimização de custos ou de tempo. Por fim, foi feita uma análise da influência de sistemas estáticos e dinâmicos no planeamento das respectivas rotas óptimas de recolha.

Após algumas pesquisas, comprovou-se a falta de referências à viabilidade da utilização de sensores para a medição do nível ou quantidade de resíduos sólidos urbanos existentes nos contentores, e quando existentes eram praticamente aplicáveis num só tipo.

Tem-se notado uma tendência em abordar a questão de uma forma tecnológica. Encontram-se, na literatura disponível, alguns trabalhos de investigação que visam integrar a tecnologia nos depósitos de resíduos típicos. Estes estudos apontam para a dotação dos contentores de sensores de nível e módulos de comunicação sem fios que permitem acompanhar, em tempo real, a capacidade actual do contentor. São sugeridos diversos tipos de sensores para estes sistemas, tais como, sensores de imagem, como por exemplo uma câmara VGA (Arebey et al., 2010) ou sensor de ultrassom (Lelah et al., 2010).

No que diz respeito às tecnologias de comunicação, é referida a utilização de sistemas de identificação por radiofrequência (RFID), GPS e redes GSM/GPRS (Arebey et al., 2010; Hannan et al., 2010; Chowdhury et al., 2007). Em estudos anteriores (Hannan et al. 2011), propôs-se um sistema utilizando a tecnologia RFID em que um leitor presente no veículo de recolha lê a *tag* RFID do contentor que está a recolher e envia a sua localização GPS através do módulo de comunicação GSM para um servidor de internet correspondente a uma base de dados SIG. Neste estudo, aplicado no caso de contentores de resíduos orgânicos, propôs-se monitorar em tempo real todo o processo de gestão e recolha dos contentores, através do envio de imagens obtidas através de uma câmara, que indicam o nível de enchimento dos contentores e apresentam a posição dos veículos e contentores num mapa em formato digital. Os autores apontaram, no entanto, algumas desvantagens neste sistema, entre as quais, nomeadamente os casos em que os contentores se encontram em espaços fechados, onde a comunicação com os satélites de GPS não é possível e ainda a necessidade de proximidade com os contentores por parte dos veículos de recolha, referentes à comunicação RFID.

Por sua vez, foi proposto um outro método (Lelah et al. 2010) no qual se incidiu a criação de uma infraestrutura para serviços em áreas urbanas. Este projecto francês, denominado de SensCity, propôs uma rede colaborativa em que Pequenas e Médias Empresas trabalham em conjunto no sentido de cada uma oferecer um serviço diferenciado, dentro da infraestrutura. Nesta rede, uma entidade central seria responsável pelas empresas que integram a infraestrutura. Cada empresa seria por sua vez responsável por um serviço único na infraestrutura, o que permite especializar e distinguir os diversos serviços disponíveis por cada parceiro e, no caso de substituição da empresa, este modelo de organização hierárquica facilitaria o processo, uma vez que estão perfeitamente claros a função e o lugar de cada parceiro. Como complemento, o trabalho sugere a utilização de sensores que recolhem informações do ambiente urbano e enviam essa informação através de GSM para servidores dedicados que fazem o respectivo processamento e estabelecem planos de trabalho consoante os dados recebidos. Dentro dos serviços de utilidade pública fornecidos pelas empresas, o estudo foi aplicado ao caso de recolha de resíduos do vidro, embora a infraestrutura permita a integração de novos serviços, entre eles, a medição do nível de ruído e poluição. Esta informação estaria depois disponível através da Internet para a empresa municipal responsável, incluindo os moradores. Os autores fazem referência para a importância da qualidade de serviço (QoS, *Quality of Service*) no que diz respeito à utilização da comunicação GSM, em que a disponibilidade à rede é, muitas vezes, instável. Foi também apontada a necessidade de políticas de segurança e privacidade à informação enviada para a internet e dados trocados entre as PME's que integram a infra-estrutura.

No que diz respeito a sistemas unicamente sensoriais, sem modelos de comunicação, (Reverted et al. 2003), propuseram a utilização de sensores capacitivos na medição de nível de enchimento máximo no caso de um contentor de papel e cartão. Os autores concluíram que os sensores capacitivos eram muito sensíveis à humidade o que torna o processo de medição falível em algumas ocasiões. Por forma a contrariar este problema, (Marques, Leitão et al. 2009) propuseram um sistema baseado em infravermelhos em que o feixe é detectado por um fotodíodo colocado do outro lado do contentor. Neste estudo foram utilizados quatro feixes infravermelhos emitidos por uma luz LED para a medição do nível de enchimento de um contentor de vidro. Os autores concluíram que este sistema de sensor era robusto e pode funcionar com algum grau de contaminação, sem que houvesse interferência na medição sensorial.

3. Desenvolvimento de um sistema de gestão para a recolha de material reciclável

O estudo do desenvolvimento de um sistema proposto por esta dissertação para a gestão de uma rede de recolha de material reciclável em contentores, vulgarmente designados por ecopontos, pode ser dividido em várias partes. Ao longo deste capítulo serão identificados e analisados os requisitos pretendidos para a implementação do sistema protótipo e na criação da plataforma de gestão da rede, com suporte a modelos e ferramentas de engenharia de projecto.

Pretende-se, no desenvolvimento do sistema protótipo de um ecoponto inteligente, criar uma estrutura equipada com sensores que permita medir aproximadamente o nível de material depositado no ecoponto em diferentes áreas e assim obter uma melhor perspectiva do nível de enchimento real do contentor. A criação desta estrutura amovível foi idealizada com vista a uma possível adaptação aos contentores actuais sem a necessidade da criação de um novo equipamento de recolha, tal como ilustra a Figura 3.1.

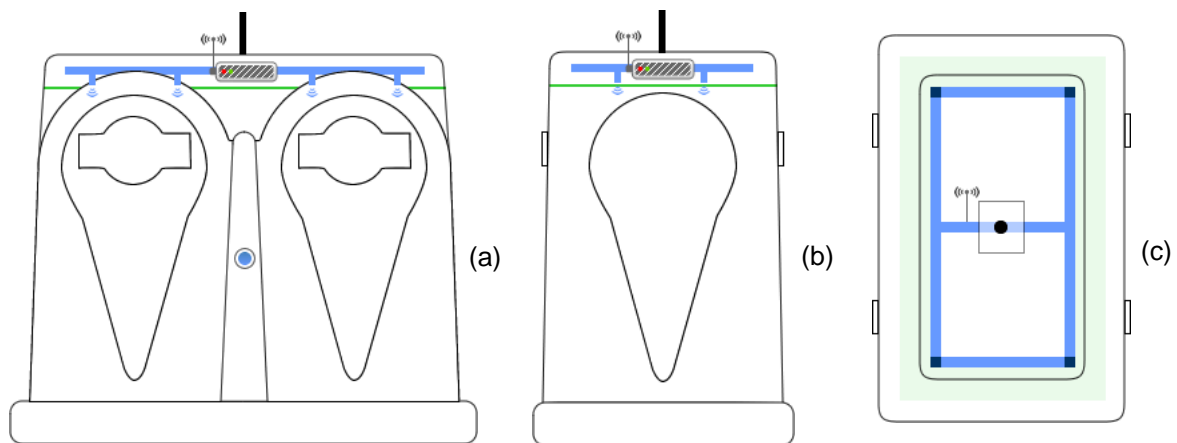


Figura 3.1 - Exemplo da possível utilização da estrutura do protótipo proposto acoplado a um ecoponto comum;
(a) Vista frontal; (b) Vista lateral; (c) Vista de topo;

Pretende-se assim que a estrutura sensorial, identificada pela cor azul, seja amovível o que permitirá adaptar-se aos diversos contentores actuais. Os sensores de ultrassom, dispostos na estrutura por forma a cobrir várias áreas, calcularão o nível de lixo na área correspondente o que permitirá medir aproximadamente o real enchimento do ecoponto. A estrutura estará ainda resguardada por uma rede, identificada na figura pela cor verde, que permitirá proteger o sistema eléctrico de uso indevido ou sobrelotação do contentor.

3.1 Modelação do sistema

Em qualquer área de engenharia, quando se torna necessário projectar um novo sistema ou produto, é conveniente recorrer a modelos que representem os objectos que se pretendem desenvolver. Esses modelos, geralmente em forma de diagramas, visam constituir uma representação abstrata de uma realidade projectada para o futuro e tendem a ser tão mais elaborados quanto mais complexo for o sistema que se pretende desenvolver. Independentemente da complexidade do problema a modelar, pretende-se que a linguagem utilizada nestes diagramas não seja ambígua, que permita descrever as partes essenciais do problema e que seja de entender por todos os intervenientes na elaboração do projecto. Estes diagramas podem assumir a forma de diagramas estruturais ou diagramas de comportamento. Os diagramas estruturais, como o nome indica, constituem uma forma de representar o modo como os componentes de um sistema são estruturados. Por sua vez, os diagramas de comportamento identificam a forma como os intervenientes interagem e comunicam entre si.

Numa abordagem inicial, a descrição do comportamento de um determinado sistema pode ser sistematizado através de um modelo, em que se tem por hábito identificar e especificar todos os agentes envolvidos, os requisitos que se desejam que o sistema venha a cumprir e identificar as funções que se pretende executar. A este processo de construção e organização de conhecimentos de um determinado sistema chama-se **modelação**.

Neste trabalho, a modelação do sistema foi dividida consoante as várias partes integrantes do projecto, entre as quais, a aplicação protótipo de um ecoponto e a aplicação *web-based* de gestão de uma rede de ecopontos e optimização de rotas de recolha. No que diz respeito à aplicação protótipo, esta pode ainda ser caracterizada através da modelação do *software* e *hardware* a desenvolver. Na modelação do programa de *software*, a descarregar na memória do microcontrolador, identificaram-se as principais funções a executar, os recursos necessários oferecidos pelas funções das bibliotecas da plataforma Arduino e projectou-se um mecanismo que envia regularmente o valor lido pelo sensor, através do módulo de comunicação, para uma plataforma *web-based*. Depois de identificados os vários componentes necessários para a realização do dispositivo de medição de nível de enchimento do ecoponto inteligente, entre os quais sensores, módulos de comunicação sem fios e fontes de alimentação eléctrica, foi possível modelar a melhor forma de comunicação entre eles. Por sua vez, a aplicação *web-based* foi dividida em duas partes com funcionalidades distintas: um servidor que recebe a ligação efectuada pelo ecoponto inteligente e a plataforma de gestão da rede de ecopontos e cálculo de rotas óptimas de recolha. Em cada parte foi proposto um processo de modelação do sistema, identificando os diversos agentes nele envolvidos, a forma como interagem e que cumprisse com a tarefa a que se propõe. No desenvolvimento deste projecto, foi utilizada a linguagem UML, uma vez que permite modelar, através da criação de diversos diagramas, as características e o funcionamento de um sistema. Para uma conveniente representação do sistema, foram criados diagramas de sequência, diagrama de comunicação, diagrama de fluxo, diagrama de classes e diagramas de casos de uso. No capítulo 3.1.2, apresentam-se os diagramas UML efectuados para descrever o sistema desenvolvido.

Conforme referido, o trabalho de identificação das tarefas a realizar pelas partes integrantes de um sistema e a sua consequente modelação é muito importante numa fase embrionária de um projecto. Para além disso, é também importante identificar e definir claramente os requisitos que necessitam obrigatoriamente de ser cumpridos, para que todo o processo funcione correctamente. Estes requisitos podem ser identificados como requisitos funcionais e requisitos não funcionais, que serão abordados nas secções seguintes deste capítulo.

3.1.1 Requisitos funcionais e não funcionais

As capacidades de um sistema avaliam-se pelas funções que executa. Neste sentido, propõe-se neste trabalho a sugestão de um novo modelo que visa melhorar o actual sistema de recolha de resíduos sólidos urbanos, que tem como principal destaque a monitorização em tempo real do nível de enchimento de um ecoponto.

Para que os objectivos propostos sejam atingidos, houve a necessidade de identificar todos os requisitos, funcionais e não funcionais, necessários para o sucesso do sistema. Os requisitos funcionais são aqueles que o sistema se comprometerá a executar conjugando todos os esforços na implementação para os cumprir. Os requisitos não funcionais não estão directamente ligados ao sucesso das tarefas propostas mas sim a aspectos relacionados com o desempenho, usabilidade, confiabilidade ou segurança da aplicação.

Os principais requisitos identificados para a elaboração deste sistema protótipo apresentam-se na tabela Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Requisitos funcionais e não funcionais propostos para o sistema a desenvolver

Tipo	Requisito	Descrição
Funcional	Monitorar <i>online</i> e em tempo real o nível de enchimento dos ecopontos	O utilizador poderá acompanhar em qualquer hora ou lugar, através da internet, o nível de enchimento de qualquer ecoponto da rede
Funcional	Medir a quantidade de lixo	O sistema deverá ser capaz de medir através de um número percentual o nível de enchimento de um ecoponto
Funcional	Optimizar as rotas de recolha	O sistema deverá otimizar as rotas de recolha consoante a opção de rota mais curta ou rentável
Funcional	Exportar os resultados obtidos para a equipa de recolha	As rotas obtidas deverão poder ser impressas em papel para auxiliar a recolha dos ecopontos pela equipa

Funcional	Botão de alerta	O sistema deverá permitir que um cidadão denuncie uma possível acumulação de resíduos no exterior do ecoponto
Não funcional	Seja de baixo custo	O protótipo deverá ser de baixo custo para que seja rentável a sua implementação numa rede com um largo número de ecopontos
Não funcional	Tenha um baixo consumo energético	O protótipo deverá suportar um sistema de poupança de energia eléctrica de forma a suspender a sua alimentação nos períodos em que não haja essa necessidade
Não funcional	Autonomia	Para garantir uma maior portabilidade, em zonas onde a alimentação por meio da rede eléctrica não seja possível, o protótipo deverá ser alimentado electricamente por painéis fotovoltaicos que acumulam a energia em baterias recarregáveis
Não funcional	Acesso remoto sem fios	Pretende-se que o sistema utilize as redes GSM, amplamente difundidas em Portugal, para fazer a comunicação da informação sensorial medida
Não funcional	Instalação fácil	Pretende-se que o protótipo contenha todos os módulos necessários para que a sua instalação nos ecopontos seja feita sem quaisquer outros requisitos
Não funcional	Tenha dimensões reduzidas	O protótipo deverá ter dimensões reduzidas para que seja fácil a sua instalação em qualquer ecoponto e que passe despercebido ao utilizador comum

Não funcional	Escalabilidade	Pretende-se que o sistema esteja preparado para crescer sem perder fiabilidade
Não funcional	Usabilidade	Seja de fácil utilização para o utilizador
Não funcional	Acesso 24h/dia	A plataforma de gestão, disponível a partir da internet, deverá estar operacional a qualquer momento
Não funcional	Confiabilidade	Na plataforma de gestão, apenas os utilizadores devidamente identificados poderão aceder ao sistema

3.1.2 Descrição do sistema a partir de UML

A linguagem Unified Modeling Language (UML) é uma ferramenta de modelação bastante utilizada no ramo de engenharia que permite, numa fase inicial, modelar as partes integrantes de um sistema, com recurso a diagramas que facilitam a interpretação, o desenho e a comunicação entre os objectivos do projecto a desenvolver. Na criação de diagramas padronizados, que possam ser interpretados por vários elementos de diferentes áreas, a UML tem como objectivo especificar, documentar e estruturar esses mesmos diagramas para que seja possível obter uma visualização lógica e clara do desenvolvimento completo do sistema de informação a desenvolver. Para além de uma notação gráfica, a UML também permite especificar significados, isto é, permite acrescentar referências semânticas aos processos e elementos.

Inerente à linguagem UML, existem ferramentas que ajudam a representar a modelação de um sistema com diferentes perspectivas e utilizações, entre as quais destacam-se a comum utilização em engenharia das seguintes: diagramas de classes, diagramas casos de uso e diagramas de sequência. Os diagramas de classes são uma forma de criar um diagrama estrutural estático que descreve a estrutura de um sistema identificando os principais elementos que o constituem: as classes, os seus atributos, as operações que efectuam, e as relações entre as diversas classes do sistema. Os diagramas casos de uso, em inglês, *use cases diagram*, são uma técnica de modelação que permite descrever as interações que um sistema deve cumprir para cada utilizador que nele desenvolve um papel, com o intuito de alcançar um determinado objectivo ou realizar uma determinada tarefa. Num modelo de casos de uso os utilizadores que podem ser humanos ou não, são vulgarmente chamados de “actores” sendo que o seu papel é o de estimular e solicitar eventos do sistema e receber as suas reacções. Por fim, os diagramas de sequência são utilizados para representar o comportamento e a sequência de mensagens transmitidas entre os “actores” do sistema, ao longo do tempo.

Na modelação deste sistema, tal como referido anteriormente, o projecto foi dividido em diversas partes, consoante a sua funcionalidade e utilizadas as principais ferramentas UML para as modelar. A Figura 3.2 ilustra o diagrama de caso de uso com os diversos actores envolvidos no sistema global.

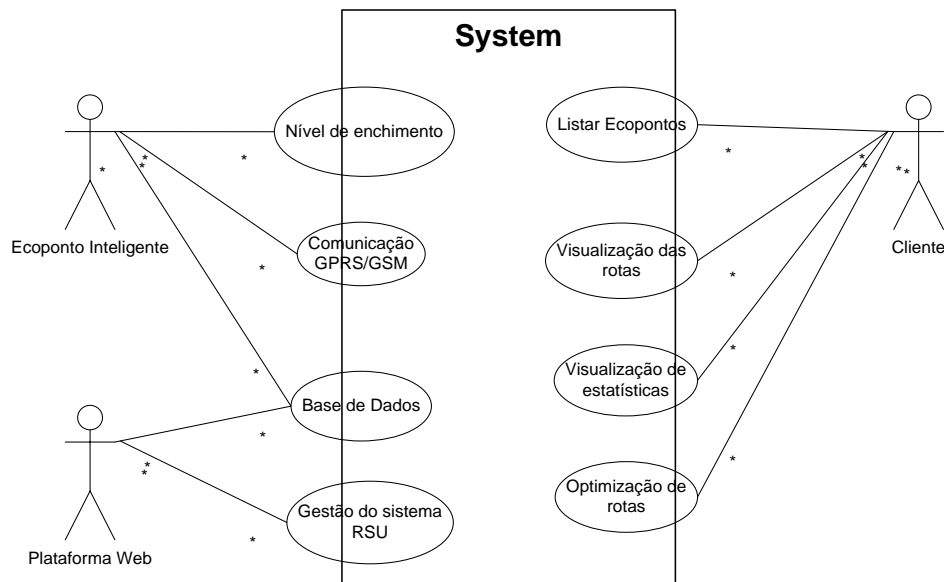


Figura 3.2 - Diagrama *Use Cases*

O actor “Ecoponto inteligente” corresponde ao desenvolvimento da aplicação protótipo e tem como principais funcionalidades a avaliação do nível de enchimento de um contentor de resíduos sólidos urbanos e a comunicação do valor medido para um servidor *web* através da rede GSM. Quando o valor é recebido pelo servidor é adicionado um novo registo na base de dados. As acções mais importantes efectuadas pelo actor “Plataforma Web” dizem respeito à infraestrutura que representa o servidor e a plataforma de gestão. O servidor, que funciona como terminal na comunicação feita pelos Ecopontos inteligentes, tem como principal elemento uma base de dados que aloja os níveis de enchimento recebidos e informação relativa à rede de contentores. O último actor deste sistema, o actor “Cliente”, corresponde ao utilizador da plataforma de gestão *web-based*. A funcionalidade desta plataforma assenta em tarefas de gestão da recolha dos resíduos dos ecopontos, entre as quais, visualizar os diferentes circuitos de recolha, listar os ecopontos e as suas principais informações (níveis de enchimento, localização, última recolha, entre outras), obter a melhor rota de recolha consoante os níveis de enchimento dos ecopontos e ainda consultar informação estatística anterior.

Aplicação protótipo de “Ecoponto Inteligente”

Esta aplicação pode ser dividida numa componente de desenvolvimento de *software* e de *hardware*. Na perspectiva de *hardware*, o dispositivo eléctrico pode ser representado através de um diagrama de componentes. A Figura 3.3 mostra de que forma os diversos módulos que constituem este sistema protótipo se organizam através de uma noção de componentes de trabalho. A plataforma Arduino assume o papel principal no sistema, uma vez que o programa de *software* responsável pela interacção entre o módulo de comunicação GSM e sensores é descarregado na sua memória e o microprocessador assegura a sua devida execução. A plataforma Arduino é alimentada por uma fonte de energia fotovoltaica.

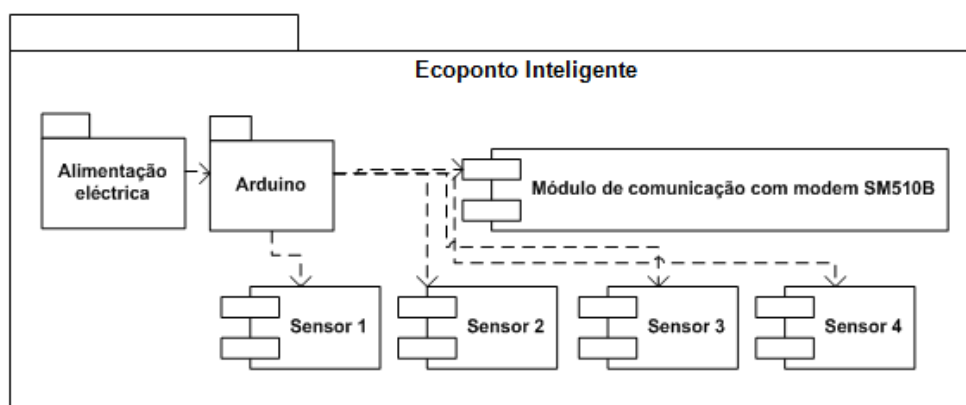


Figura 3.3 - Diagrama de componentes

Sucintamente, cada componente é responsável por:

- Alimentação eléctrica: assegurar o fornecimento de energia necessário para um correcto funcionamento dos diversos componentes electrónicos;
- Arduino: executar o programa de software responsável pela comunicação entre os diversos periféricos;
- Sensores: medir o nível de enchimento de um ecoponto dentro da sua área de alcance;
- Módulo de comunicação: enviar os valores medidos pelos sensores para um servidor remoto.

Plataforma *web-based*

A página de gestão *web-based* é a componente do sistema que permite ao utilizador efectuar a maior parte das opções de gestão da rede. Na arquitectura de uma rede de contentores de material reciclável de qualquer empresa responsável pela sua gestão, os principais elementos que se destacam são os próprios ecopontos e os circuitos de recolha nos quais estão inseridos. Por norma, as empresas definem os circuitos de recolha a partir de zonas geográficas, e associam os ecopontos dessa zona ao respectivo circuito. Os circuitos são identificados vulgarmente através de um número que contém então uma lista de ecopontos.

Foi a partir das principais componentes identificadas, que foram definidas as funcionalidades de gestão na plataforma consideradas mais importantes. Por se tratar de um sistema totalmente projectado e idealizado para a *web*, obtém-se assim uma maior mobilidade e acessibilidade uma vez que está disponível em qualquer computador ou dispositivo que possua uma ligação à internet. Entre as funcionalidades principais destacam-se a possibilidade do utilizador consultar o estado de enchimento de todos os ecopontos da rede em tempo real, consultar o mapa completo da rede com a informação da localização dos ecopontos associados a cada circuito, consultar informação estatística dos níveis de enchimento de dias anteriores e criar rotas de recolha consoante o estado de enchimento dos contentores. O utilizador pode ainda adicionar, remover ou alterar a informação dos circuitos de recolha e ainda adicionar e remover ecopontos de um circuito. A Figura 3.4 ilustra o diagrama de classes na qual se identificam os principais elementos e funções que a plataforma disponibiliza.

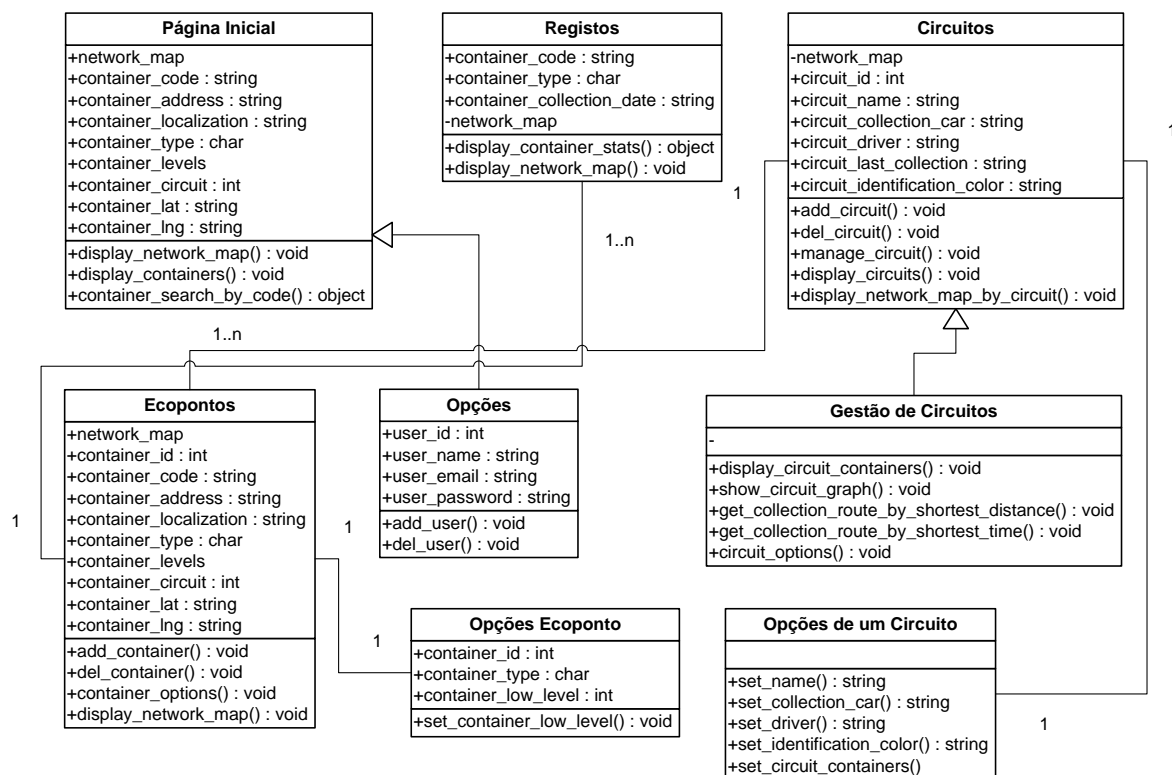


Figura 3.4 - Diagrama de classes

Além das funcionalidades oferecidas pela plataforma *web-based*, que são especialmente dirigidas à gestão da rede, é ainda possível configurar os utilizadores que lhe têm acesso. Assim, o acesso à plataforma não está confinado a um só utilizador mas a uma lista de utilizadores devidamente autorizados.

Programa Software Arduino

A plataforma Arduino revela-se uma excelente solução quando se procura integrar dispositivos eléctricos, uma vez que permite, de forma fácil, lidar por *software* com os parâmetros eléctricos dos vários dispositivos. A comunicação entre os dispositivos e a plataforma Arduino pode ser efectuada por duas formas: analógica ou digital. Neste trabalho, a comunicação foi essencialmente efectuada por forma digital pelo que, depois de configurado o circuito eléctrico, foi possível programar a sequência de operações desejada para o objectivo pretendido e que se ilustra na Figura 3.5.

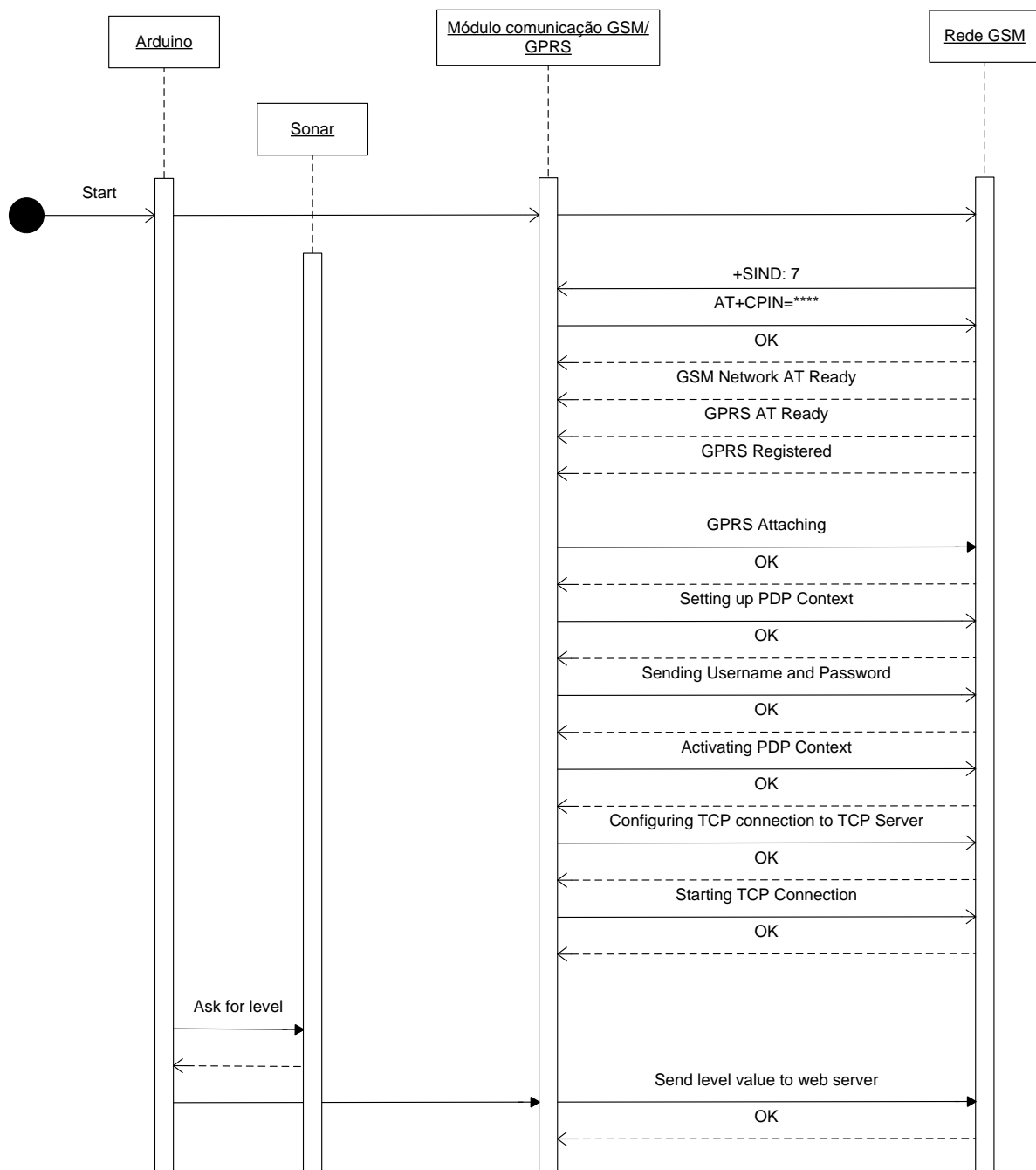


Figura 3.5 - Diagrama de sequência do software programado no Arduino

A partir do diagrama de sequência apresentado é possível constatar a sequência da troca de mensagens entre os vários periféricos que integram o sistema protótipo. A plataforma Arduino inicia o seu funcionamento interagindo com o módulo de comunicação para registar o dispositivo na rede GSM do local. Através de uma troca inicial de mensagens de identificação, que inclui a indicação do código PIN associado ao cartão SIM, o módulo é configurado para que funcione utilizando a tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*). Esta tecnologia, que utiliza uma comutação por pacotes, permite um aumento nas taxas de transferência de dados nas redes GSM pois atinge, geralmente, velocidades superiores (na ordem dos 40 Kbps) do que a comutação por circuitos permite (12 kbps). Desta forma, é necessário a troca de comandos AT específicos entre o módulo de comunicação e a rede GSM para que as duas partes estejam programadas para funcionar utilizando a tecnologia de comutação por pacotes. O sucesso desta operação permite depois que seja estabelecida uma ligação TCP/IP entre o módulo de comunicação e um servidor *web*. O TCP (Transmission Control Protocol) caracteriza-se por ser um protocolo de comunicação orientado a ligações confiáveis que permite a entrega de dados sem erros. Uma vez estabelecida a ligação entre o módulo e o servidor, a plataforma Arduino requisita ao sonar a medição do valor correspondente ao nível de enchimento do ecoponto e transmite essa informação por meio de uma *string* que contém o código de identificação do ecoponto e o valor lido pelo sensor em centímetros no seguinte formato:

```
#_<código do ecoponto>_<valor lido pelo sensor 1 em cm>_<valor lido pelo sensor 2 em cm>_<valor  
lido pelo sensor 3 em cm>_<valor lido pelo sensor 4 em cm>
```

Depois de o servidor receber a *string*, cabe-lhe a tarefa de extrair as informações necessárias e adicionar um novo registo na base de dados.

A operação de leitura do nível de enchimento de material do ecoponto por parte do sensor e o respectivo envio desse valor para o servidor é realizado de uma forma cíclica consoante uma periodicidade previamente definida. Por sua vez, o processo de configuração do módulo para que funcione através de GPRS e o estabelecimento da ligação TCP/IP apenas é efectuado quando a plataforma Arduino é iniciada.

3.2 Equipamento necessário

Tendo em atenção os requisitos identificados e formulados previamente, descreve-se neste capítulo a forma como estes foram satisfeitos, mediante a implementação de módulos e serviços, suportados por uma arquitectura de *hardware* e *software* adequada.

Arduino Uno Rev3

Para a implementação deste protótipo, utilizar-se-á a plataforma de desenvolvimento Arduino. Esta plataforma, ilustrada na Figura 3.6, consiste numa placa de desenvolvimento *open-source* que possui

um microprocessador reprogramável ATmega328, entradas digitais e analógicas e uma interface série através da porta USB.



Figura 3.6 - Placa de desenvolvimento Arduino

A escolha desta plataforma prendeu-se com a possibilidade de a mesma possuir todos os requisitos necessários para o funcionamento da infra-estrutura, bem como facilitar as operações de *debug* do *software* produzido. Embora o Arduino seja a plataforma ideal para a criação deste protótipo, uma vez que se integra facilmente com uma variedade enorme de sensores e outros componentes eléctricos, numa futura implementação em larga escala, apenas seria necessário um microcontrolador com o *software* programado na sua memória. Desta forma, reduziam-se os custos de implementação do equipamento.

O Arduino possui 6 pinos para entradas analógicas, que estão ligadas ao ADC do microcontrolador. No que diz respeito às entradas ou saídas digitais, o Arduino possui 14 pinos, sendo que 6 podem ser utilizados para gerar PWM. Esta plataforma utiliza ainda um cristal de 16 MHz para a geração do relógio do microprocessador. A fonte de alimentação é feita por USB ou por uma fonte externa. As principais características do Arduino encontram-se na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Especificações técnicas do Arduino

Microcontrolador	ATmega328
Tensão de funcionamento	5 V
Tensão de alimentação recomendada	7-12 V
Tensão de alimentação (limites)	6-20 V
Entradas/Saídas digitais	14 (em que seis permitem gerar PWM)
Entradas analógicas	6
Corrente DC por pino	40 mA
Memória Flash	32 KB (em que 0,5 KB são utilizados no arranque)
Memória SRAM	2 KB
Memória EEPROM	1 KB
Frequência do relógio	16 MHz

Uma característica essencial que fez com que a escolha para a implementação deste sistema fosse o Arduino, é o facto de este possuir um mecanismo de *reset* automático enquanto está ligado ao computador. Este mecanismo torna-se especialmente útil quando se pretende programar o microcontrolador ATmega328, no sentido em que não exige ao programador que o *reset* seja feito manualmente; o mesmo é efectuado através da ligação de um dos sinais de controlo de fluxo da porta série ao sinal de *reset* do microcontrolador. Desta forma, o *software* de desenvolvimento de programação do Arduino permite a transferência do código de software para o microprocessador através do botão de *Upload*, identificado na Figura 3.7 que ilustra o ambiente de programação do Arduino.

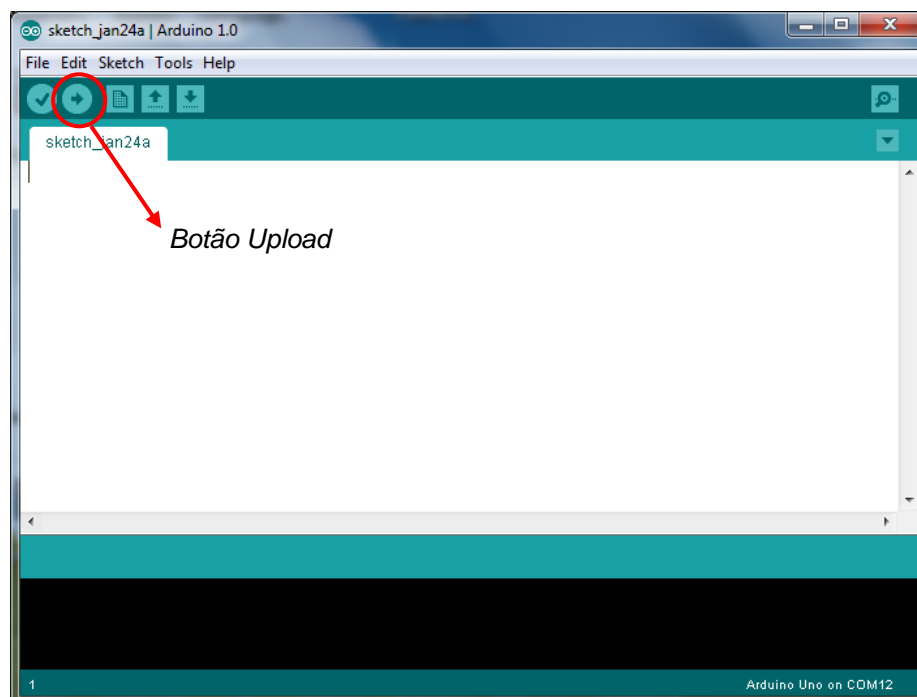


Figura 3.7 - Ambiente de programação Arduino

Todas as características referidas sobre o Arduino e, sobretudo, a sua versatilidade e baixo custo, tornam o Arduino a escolha ideal para a criação deste sistema protótipo de gestão inteligente de uma rede de ecopontos.

Modem GSM

A forma como a informação do nível de enchimento dos ecopontos é transmitida para a central é um elemento muito importante para o bom funcionamento do sistema. Assim, a escolha recaiu em utilizar a rede GSM em detrimento de outras redes de comunicações sem fios. As redes GSM estão amplamente difundidas pelo mundo (Figura 2.11), garantem uma boa cobertura e têm óptimos níveis de eficácia. Outras soluções de comunicação sem fios não garantem, para este sistema, uma solução

consistente e com garantia de sucesso como as redes GSM apresentam. A Tabela 3.3 ilustra uma comparação das necessidades de comunicação para o sistema a desenvolver.

Tabela 3.3 - Comparação de características entre redes sem fios

	Alcance	Velocidades	Consumo de Energia
Redes GSM	Grande	115 kbps	Baixo
Redes Wi-Fi 802.11b	Médio	Até 11 Mbps	Alto
Redes Bluetooth	Baixo	Até 721 kbps	Médio

De acordo com a tabela anterior, as redes GSM apresentam-se como a melhor solução para o problema; a sua grande vantagem em relação às redes Wi-Fi 802.11b e Bluetooth é o seu grande alcance e o baixo consumo de energia. Embora utilize uma tecnologia com uma velocidade de transmissão mais baixa em comparação com as restantes, para o envio de uma mensagem SMS a velocidade que oferece é suficiente ou adequada. Em relação à fiabilidade e taxa de erros na comunicação, as redes GSM apresentam melhores resultados – uma vez enviada uma mensagem SMS para a rede, a sua entrega é quase sempre efectuada com sucesso.

Assim, para a implementação deste sistema protótipo, utilizou-se um módulo de comunicação sem fios GSM que permite de uma forma fácil ser integrado na placa de desenvolvimento. A Figura 3.8 ilustra a ligação entre os módulos Arduino “*Cellular Shield with SM5100B*” (SparkFun Electronics, 2010).



Figura 3.8 - Módulo de comunicação sem fios GSM/GPRS através do modem SM5100B (SparkFun Electronics)

Este módulo inclui todos os componentes necessários para realizar a ligação entre o Arduino e o *modem* GSM SM5100B. Através deste, é possível implementar, de uma forma fácil, um sistema de envio e recepção de mensagens de texto ou ainda configurá-la para trabalhar de acordo com a tecnologia GPRS.

O módulo SM5100B, cujas principais características eléctricas se encontram na Tabela 3.4, consiste num *modem* GSM quad-band, que permite a comunicação em qualquer rede GSM existente em grande parte do mundo (GSM 850 / EGSM 900 / DCS 1800 / PCS 1900). A comunicação de dados deste *modem* é efectuada através de comandos AT, enviados pela porta série utilizando o formato RS-232. Este formato, desenvolvido pela Eletronics Industries Association (EIA) em 1969, consiste num padrão universal de troca de dados binários entre um terminal e um comunicador.

Tabela 3.4 - Características eléctricas do módulo SM5100B

Tensão de funcionamento	V_{MIN}	V_{NOM}	V_{MAX}
	3.3 V	3.6 V	4.2 V
Corrente consumida em <i>off mode</i>	< 100 mA		
Corrente consumida em <i>sleep mode</i>	< 2 mA		
Corrente consumida em <i>idle mode</i>	< 7mA		
Corrente consumida em comunicação	350 mA		
Gama de frequências abrangidas	GSM850 / EGSM900 / DCS1800 / PCS1900		
Potências de transmissão	GSM850 / EGSM900	DCS1800 / PCS1900	
	2W	1W	

Quad-band Cellular Duck Antenna SMA

Como complemento à placa de desenvolvimento “Cellular Shield with SM5100B”, foi necessário utilizar uma antena quad-band para que forneça a potência necessária à comunicação sem fios, sem esta não era possível enviar e receber os comandos AT da rede. Esta antena, ilustrada na Figura 3.9, funciona para transmitir e receber informação, operando na gama de frequências de 850-1900Mhz.



Figura 3.9 - Quad-band Cellular Duck Antenna SMA

Sensor HC-SR04

Um componente importante na implementação do *hardware* é o sensor de medição aproximada da quantidade de material existente nos contentores. Perante as necessidades exigidas, a escolha

recaiu no uso do sensor de proximidade “HC-SR04” (Micropik) uma vez que este sensor se apresenta como uma solução eficaz de muito baixo custo, de dimensões reduzidas e com um alcance correspondente ao necessário, uma vez que pode chegar aos 400 cm de alcance máximo. A Figura 3.10 a) ilustra o sensor utilizado.

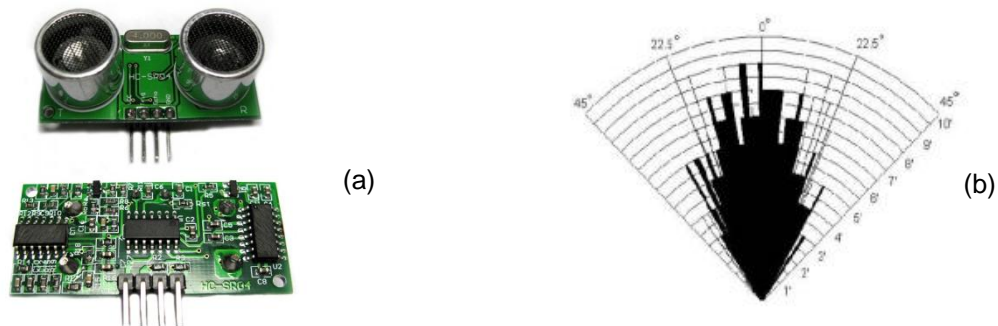


Figura 3.10 - Sensor de ultrassom HC-SR04;
(a) Sensor de ultrassom, vista geral; (b) Ângulo de medição

Entre as principais características do sensor, destacam-se as seguintes:

- Sensor de ultrassom, utilizando uma frequência de trabalho de 40 kHz
- Ângulo de medição: 15°
- Resolução: 3 mm
- Alcance máximo: 400 cm
- Alcance mínimo: 2 cm
- Tensão de funcionamento: 5V DC
- Corrente de funcionamento: 15mA
- Dimensões: 45 x 20 x 15 mm
- Baixo custo

Este módulo inclui um transmissor de ultrassom, um receptor, um circuito de controlo e garante medições precisas de distância num ângulo não superior a 15°, como mostra a Figura 3.10 b). O princípio básico de funcionamento deste sensor encontra-se ilustrado na Figura 3.11.

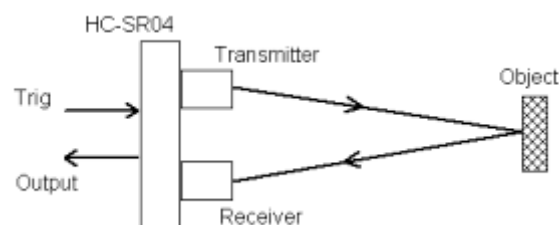


Figura 3.11 - Esquema simplificado do funcionamento do sensor

O modelo funciona da seguinte forma:

1. Através da entrada e saída (*Input/Output*) de pulso *Trigger*, envia um pulso curto de 10 us.

2. Em seguida, o módulo envia oito ciclos de frequências em “rajada”, na frequência de trabalho do módulo, e detecta se há uma resposta no sinal de pulso enviado, ou seja, o eco e mede o seu comprimento.
3. Se existir um sinal de retorno, o eco é calculado a partir do tempo de saída, que consiste na diferença entre tempo desde o envio do pulso até ao retorno do sinal.

A distância é depois calculada através da seguinte fórmula:

$$Distância = \frac{\text{comprimento do pulso} \times \text{velocidade do som}}{2} \text{ cm}$$

Outra grande vantagem deste módulo é a sua fácil integração com a placa de desenvolvimento, já que a saída e entrada de dados do sensor, ligam-se perfeitamente às entradas digitais do Arduino, o que torna fácil o processo de cálculo da distância através de *software*.

Por forma a melhorar a precisão do cálculo aproximado do nível de enchimento do contentor protótipo, foram utilizados quatro sensores de ultrassom, responsáveis pela medição do nível de material depositado numa área específica do contentor. Admitindo que, de forma geral, os ecopontos apresentam uma forma retangular, foi criada uma estrutura para acoplar os sensores, que permita a cobertura do espaço. A figura seguinte ilustra a estrutura na qual os sensores foram instalados.

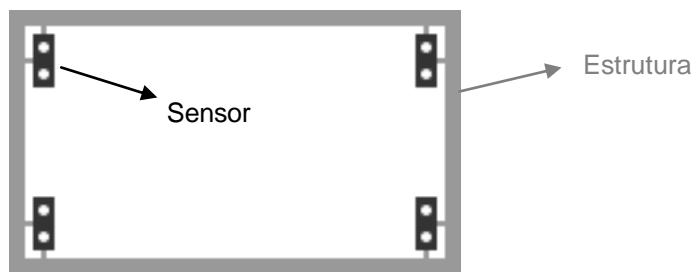


Figura 3.12 - Estrutura de sensores proposta

Solução de alimentação fotovoltaica

Na alimentação eléctrica da plataforma de desenvolvimento Arduino e dos seus componentes, o objectivo primordial, e que se manteve ao longo do desenvolvimento do circuito, foi o de assegurar que a fonte de energia para alimentação do circuito fosse renovável para que tivesse uma elevada autonomia. A escolha recaiu assim numa fonte de energia solar através de um dispositivo que permite armazenar a energia proveniente do sol numa bateria recarregável que assegura uma alimentação eléctrica eficaz do circuito.

Embora não seja requisito essencial deste trabalho, uma vez que se privilegiou o desenvolvimento de um projecto sustentável do ponto de vista energético, é importante detalhar o funcionamento de um sistema que permite obter electricidade a partir do sol. O módulo fotovoltaico,

composto por um material semiconductor, tipicamente silício, constituinte da areia e que se carrega electricamente quando submetido à luz solar é o componente principal. São também adicionadas substâncias dopantes ao semiconductor para permitir uma melhor conversão da potência associada à radiação solar em potência eléctrica. Os módulos são constituídos por células fotovoltaicas, que produzem energia eléctrica de valor tipicamente variável consoante as necessidades de tensão e corrente e em proporção com a radiação solar recebida. As células são ligadas em série ou paralelo para formarem módulos ou painéis fotovoltaicos. Nas extremidades de cada célula existem contactos de metal que absorvem os electrões livres, concentrando assim a energia. A Figura 3.13 ilustra o funcionamento de uma célula fotovoltaica.

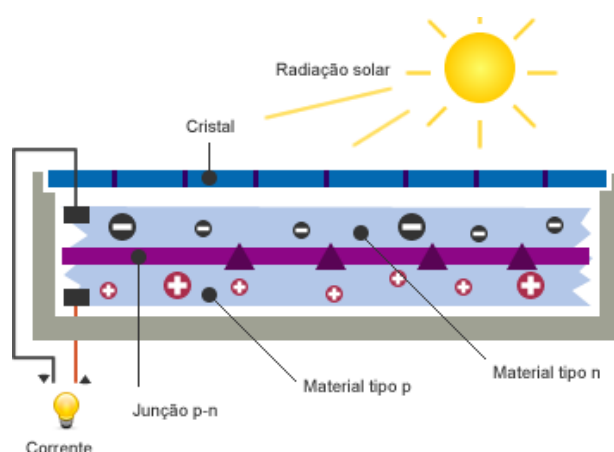


Figura 3.13 - Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica

As células fotovoltaicas presentes nestes módulos funcionam segundo um fenómeno físico básico designado de “efeito fotoelétrico”. Quando um suficiente número de fotões colide com o material semiconductor, estes podem ser absorvidos pelos electrões à superfície. A absorção de energia permite que os electrões (que contêm carga negativa) se libertem dos átomos, tornam-se assim móveis, e o espaço que ficou é preenchido com um outro electrão de uma camada inferior do semiconductor. Em consequência deste fenómeno, resulta que numa das placas existe uma maior concentração de electrões do que da outra, o que origina uma tensão entre os dois lados. Ao unir as extremidades com um fio eléctrico permite que os electrões se desloquem, gerando assim corrente eléctrica.

O dispositivo externo (Figura 3.14) utilizado consistiu numa fonte de energia que permite o fornecimento de energia esperado para a alimentação da plataforma, cumprindo com os valores exigidos de tensão e corrente. A Tabela 3.5 apresenta as especificações técnicas do dispositivo.

Tabela 3.5 - Especificações do dispositivo de alimentação fotovoltaica

Bateria	Lítio recarregável
Capacidade	1350 mAh
Tempo de carga total	10~15 horas
Tensão de saída	5.5 V
Corrente de saída	500~1000 mA



Figura 3.14 - Solução de alimentação fotovoltaica proposta

3.3 Implementação do sistema

3.3.1 Arquitectura do sistema

Na fase implementação no sistema proposto, é possível diferenciar o seu desenvolvimento em duas partes: uma primeira parte que consistiu no desenvolvimento da arquitectura de *hardware*, concretamente a criação de um circuito eléctrico alimentado por energia solar, dotado de um módulo de comunicação em redes GSM/GPRS e sensores de ultrassom e, uma segunda parte, uma componente de *software* que consistiu no desenvolvimento de uma infra-estrutura *web*, com uma aplicação servidor e uma plataforma de gestão, desenvolvida em linguagem PHP (PHP: Hypertext Preprocessor) com recurso a uma base de dados MySQL (MySQL : The world's most popular open source database) que permitiu guardar a informação enviada pelo circuito eléctrico presente no ecoponto protótipo.

A Figura 3.15 ilustra o desenho geral do projecto a desenvolver e permite obter uma perspectiva de como os vários intervenientes no sistema interagem entre si. O dispositivo de monitorização em tempo real, que mede o valor lido pelo sensor, está equipado com o módulo de comunicação que possibilita a comunicação à rede GSM/GPRS da operadora. Ao longo da transmissão dos dados entre o dispositivo e a rede é estabelecido um canal de comunicação seguro que permite, através da internet, guardar o nível de enchimento do ecoponto em questão na base de dados do servidor. Pretende-se que um utilizador da plataforma *web-based*, a partir de qualquer computador ligado à internet, possa consultar a informação dos níveis de enchimento dos ecopontos, criar rotas de recolha para os diversos circuitos com um nível de enchimento superior a um determinado valor, bem como outras funcionalidades características de um sistema de gestão e recolha de RSUs.

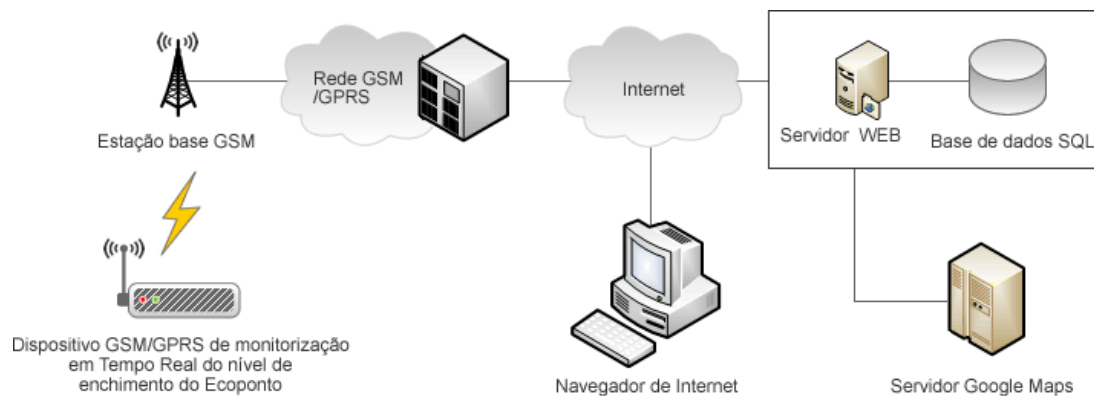


Figura 3.15 - Desenho geral do sistema proposto


Ao longo deste capítulo estudar-se-ão os passos fundamentais na idealização do dispositivo *hardware* e as suas questões do seu desenvolvimento mais relevantes. Nomeadamente propõe-se descrever de que forma a placa de desenvolvimento Arduino obtém o valor medido pelo sensor e o converte para centímetros e como o módulo comunica com a rede GSM, através de um canal de transmissão de dados seguro com o servidor, enviando o valor de uma medição. Posteriormente, serão apresentados os detalhes de implementação mais importantes da infraestrutura *web*, que contempla a aplicação servidor e a plataforma de gestão e optimização de rotas de recolha de RSU.

3.3.2 Componente *hardware*

Em linhas gerais, o princípio de funcionamento do circuito eléctrico é o de enviar, com um intervalo de uma hora, o valor do nível de enchimento do ecoponto lido pelo sensor através do módulo de comunicação para um servidor remoto. Pretende-se ainda que o circuito possua um sistema de alerta, implementado a partir de um botão de contacto, no qual os cidadãos possam denunciar os casos em que haja acumulação de lixo no exterior do ecoponto. Nestas situações, é enviada uma mensagem de alerta que informa a unidade central da existência de uma situação anómala.

De acordo com estes objectivos, determinou-se que o *hardware* “acorde” de hora em hora para efectuar o processo de verificação sensorial ou quando o botão de alerta seja pressionado. Estes requisitos acentuaram a preocupação de projectar o sistema para que exista a energia necessária na bateria no momento em que o processo fosse executado para que o circuito funcionasse correctamente e todos os módulos fossem devidamente alimentados, de acordo com as suas especificações técnicas. A placa de desenvolvimento Arduino permite suspender o seu funcionamento de vários modos, nos quais consomem uma corrente eléctrica específica. A Tabela 3.6 especifica os vários modos de suspensão possíveis pelo Arduino e a consequente perspectiva de poupança de energia possível.

Tabela 3.6 - Modos de funcionamento do microcontrolador do Arduino

Modo	Poupança de energia
SLEEP_MODE_IDLE	Menor poupança  Maior poupança
SLEEP_MODE_ADC	
SLEEP_MODE_PWR_SAVE	
SLEEP_MODE_STANDBY	
SLEEP_MODE_PWR_DOWN	

Para evitar um desperdício de energia, nos momentos em que a plataforma não tenha as necessidades de alimentação requeridas para a leitura de sensores e comunicação com o servidor *web* ou que a iluminação solar não seja suficiente (períodos nocturnos) para captar e armazenar a energia eléctrica na bateria recarregável do dispositivo, foi obrigatório incluir no programa um plano de economização de energia. O programa foi descarregado para a memória do Arduino e contempla os períodos de adormecimento através de diversas funções de poupança de energia.

O microcontrolador da plataforma constitui o elemento principal do sistema, uma vez que é ele o responsável pela execução do *software* programado na memória do Arduino e pela interligação dos vários periféricos a si conectados. A escolha na utilização da plataforma Arduino para o desenvolvimento deste protótipo permitiu tirar partido de uma das suas mais-valias, que é a sua grande facilidade de adaptação a componentes externos. Além disso, existe também uma grande comunidade de empresas que desenvolve componentes específicos para a plataforma. Por exemplo, o *modem* GSM utilizado neste trabalho consiste num módulo de comunicação desenvolvido especificamente para a integração com o Arduino. Desta forma, a ligação entre ambos foi bastante facilitada, visto que bastou acoplar o módulo de comunicação ao Arduino. Este método assegura que a alimentação eléctrica do módulo seja suportada pela sua ligação à plataforma e que a transmissão e recepção de dados sejam feitas por terminais já existentes, nomeadamente pelos *pins* digitais 2 e 3, respectivamente. Em relação ao sensor ultrassom, embora não seja um componente projectado para o Arduino, este permitiu a sua ligação de forma idêntica. O sensor é alimentado a partir dos *pins* 5V e GND do Arduino e a comunicação do sinal eléctrico, correspondente ao valor de distância medido, a partir do pin analógico 7. A Figura 3.16 ilustra as interacções entre o Arduino, e os diversos módulos e periféricos.

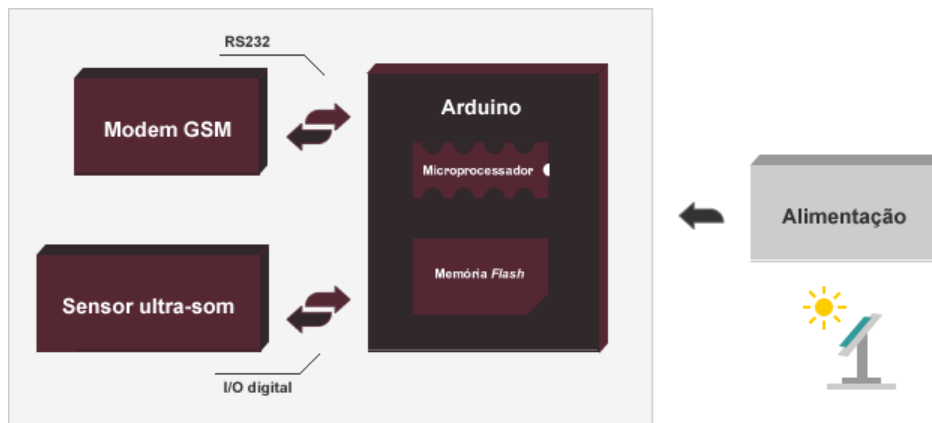


Figura 3.16 - Esquema de interações e interfaces entre os vários elementos de hardware do sistema

Uma vez efectuadas as ligações dos vários módulos à plataforma, o ponto seguinte foi o de implementar o *software* através do ambiente de desenvolvimento fornecido pelos responsáveis do Arduino. A linguagem de programação, específica do Arduino e que se assemelha à linguagem C, proporcionou uma fácil integração de bibliotecas e a manipulação de dados. Depois de alguns testes de integrabilidade e entre os diversos módulos, foi possível começar a delinear a forma como o *software* funcionaria.

O princípio de funcionamento do programa pretendido para medir o nível de enchimento de um contentor de RSU e o envio dessa informação pela rede GSM/GPRS consiste na execução de várias tarefas de forma cíclica. Depois de programado na memória *flash* do Arduino através da porta de comunicação USB, o programa inicia-se com procedimentos de ligação do módulo de comunicação à rede GSM da respectiva operadora. O módulo de comunicação dispõe de um cartão SIM, como o utilizado na maioria dos telemóveis, que permite ao *modem* ligar-se à rede. Assim que o *modem* é detectado, a rede envia um pedido para que o utilizador insira o PIN do cartão SIM que lhe é associado. O programa, que assume a postura de utilizador, responde ao pedido, enviando através de um comando AT, o respectivo PIN de acesso. De seguida, são efectuados procedimentos de forma a preparar a ligação para suportar uma transmissão de dados por pacotes. No estabelecimento da ligação (TCP) é definido o endereço IP do servidor *web* e a porta de comunicação, para o efeito a porta 5002. Após esta operação, o Arduino interpreta o valor lido pelo sensor convertendo-o para um valor em centímetros que envia em forma de *string* através do canal de comunicação TCP criado. Finalizada a transmissão, o programa entra num estado de “adormecimento” que consiste numa indicação ao microprocessador que deve apenas consumir um baixo valor de corrente, suportando apenas o funcionamento do seu relógio interno. No final do período de “adormecimento”, estabelecido com a duração de uma hora, o microprocessador deve retomar o programa e o devido funcionamento dos seus componentes, suportando os seus valores necessários de corrente e tensão. A Figura 3.17 apresenta as várias fases de funcionamento do programa.

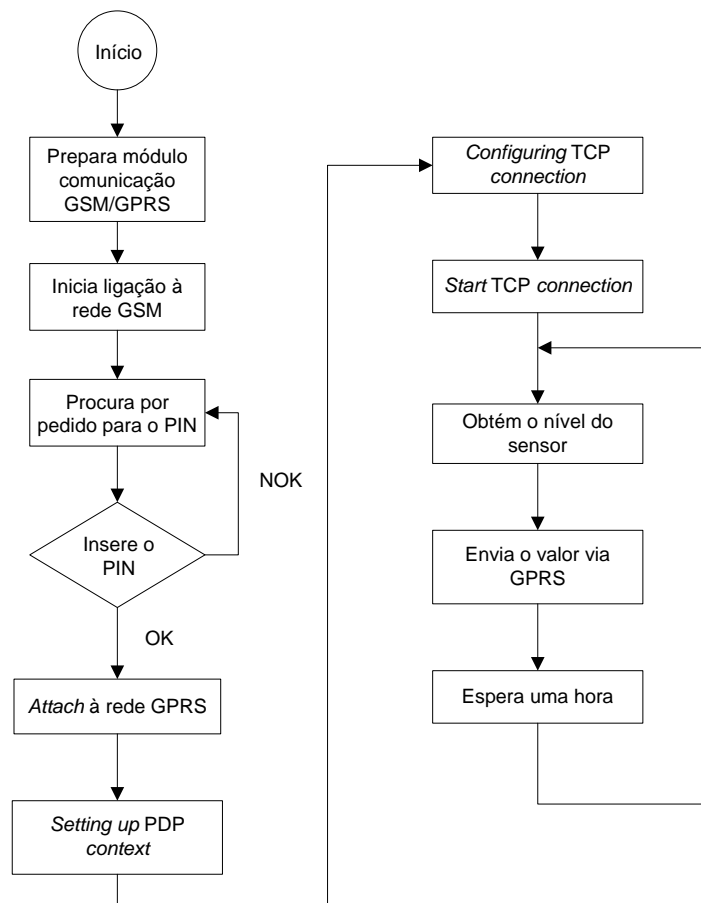


Figura 3.17 - Diagrama de fluxo do software programado no Arduino

O produto final (Figura 3.18) consistiu numa solução chave-na-mão em que o *software* é programado na memória *flash* do Arduino e o hardware encapsulado numa caixa de protecção.



Figura 3.18 - Dispositivo protótipo de avaliação de nível de enchimento de um ecoponto desenvolvido

Ao longo do desenvolvimento do *hardware*, foi mantido o objectivo claro de criar uma solução chave-na-mão, isto é, projectar e desenvolver um produto que fosse adaptável não só aos sistemas de

reciclagem actuais mas também a novos sistemas. Procurou-se também, projectar um sistema autónomo, em que a sua alimentação eléctrica não dependesse de qualquer fonte externa, e que a questão da portabilidade fosse uma realidade. Isto é, se a alimentação do circuito for feita por uma fonte de energia renovável, neste caso a energia solar, através de um painel fotovoltaico, incorporado no próprio sistema, que armazenasse a energia recebida numa bateria recarregável e a partir dela o circuito alimentado electricamente, seria possível instalar o dispositivo em qualquer contentor e em qualquer lugar. O facto do sistema comunicar por um módulo GSM contribui também para a referida adaptabilidade.

3.3.3 Componente software e sistema web

A parte de gestão de qualquer sistema é um dos pontos mais importantes uma vez que definem o sucesso do mesmo. Assim, tornou-se essencial desenvolver uma infraestrutura de *software* que permitisse receber e processar os dados enviados pelos diversos ecopontos inteligentes da rede e que disponibilize a informação do nível de enchimento de forma fácil e intuitiva para os membros da empresa ou município responsável pelo sistema.

O desenvolvimento da aplicação *web-based* foi dividido em duas partes distintas. A primeira parte consistiu num programa servidor, de funcionamento contínuo, desenvolvido utilizando *sockets* na linguagem Python que recebesse a informação enviada pela rede GSM/GPRS sobre o estado dos ecopontos, e adicione à base de dados o actual registo do respectivo enchimento (do ecoponto). O envio de informação, entre o protótipo e o servidor *web*, é efectuado através de uma ligação TCP segura, e consiste numa *string* que contém o código do contentor em questão e o respectivo valor de enchimento. A Figura 3.19 ilustra o funcionamento da aplicação do servidor do sistema.

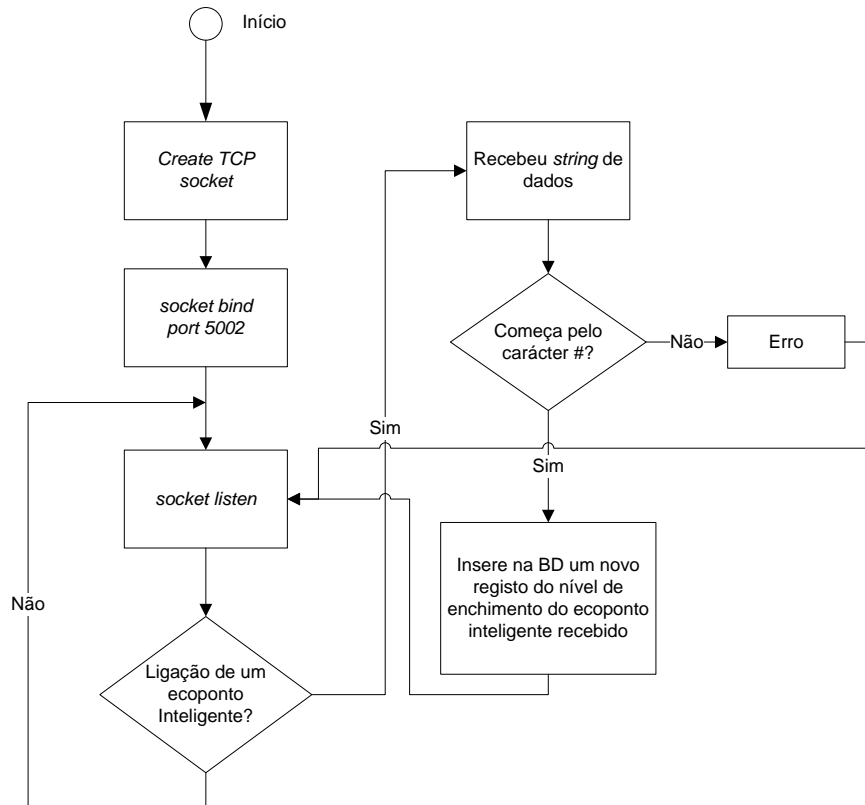


Figura 3.19 - Diagrama de fluxo do funcionamento da aplicação servidor

A segunda parte consistiu numa página de internet que funcione como *backoffice* do sistema.

Para proporcionar uma melhor navegabilidade, recorreu-se à API (*Application Programming Interface*) do Google Maps (Google Developers) para incorporar, nas várias páginas da plataforma, um mapa interactivo em que são apresentados os vários ecopontos da rede, identificados com cores diferentes consoante os circuitos de recolha da empresa onde estão inseridos.

A API do Google Maps oferece ainda outros serviços de informação geográfica a quem desenvolve *software* direccionado para a internet. Um dos serviços fornece direcções entre pontos geográficos identificados por um valor de latitude e longitude. A utilização destes serviços é feita através de *webservices* que o navegador de internet solicita ao Google Maps e os dados da resposta são filtrados e guardados na base de dados do servidor *web*.

Os *webservices* consistem numa tecnologia bastante utilizada actualmente na integração e comunicação de aplicações e serviços em diferentes ambientes. A tecnologia permite que novas aplicações, com linguagem própria, possam interagir com outras já existentes, segundo um padrão uniforme e universal conhecido de ambas, geralmente através do formato XML.

As coordenadas geográficas, que podem ser apresentadas sob várias representações, na sua representação decimal, consistem numa variável latitude, que é identificada pela abreviatura *lat*, e uma variável longitude, *long*. Os valores dessas variáveis podem ser positivos ou negativos, consoante a localização no globo terrestre. Para o Norte (*lat*) e Leste (*long*) os seus valores são

positivos, enquanto para o Sul (lat) e Oeste (long) os valores são negativos. A Figura 3.20 ilustra o sistema de coordenadas utilizado.

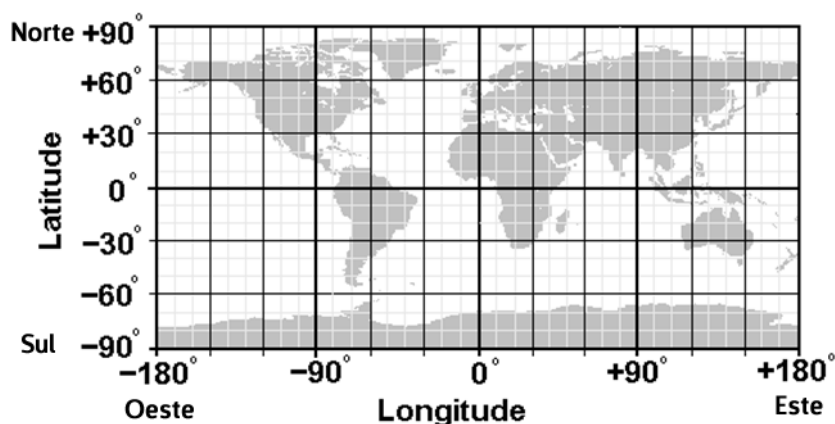


Figura 3.20 - Sistema de coordenadas latitude e longitude

Neste trabalho, utilizou-se um dos *webservices* fornecidos pelo Google para, a partir das coordenadas geográficas no seu formato decimal, obter as distâncias rodoviárias e respectivo tempo de viagem entre os ecopontos. Um dos objectivos pretendidos prendeu-se com a necessidade de criar um sistema dinâmico que contemplasse, de forma rápida, todas as operações de cálculos de distâncias entre ecopontos que fossem requeridas na execução do algoritmo de optimização de rotas proposto.

Um problema típico em sistemas dinâmicos que envolvam a criação de rotas e itinerários é a complexidade dos respectivos algoritmos. A partir de um determinado número de destinos, o tempo de cálculo cresce exponencialmente. Assim, para que o processo fosse executado de uma forma mais célere, optou-se por criar um mecanismo que executou o *webservice* da Google e que permitiu assim calcular quais as distância entre cada ecoponto, com base na sua localização geográfica, e guardar a informação do valor da menor distância rodoviária (em metros) e o tempo de viagem (em segundos). Com este mecanismo, obteve-se uma tabela na base de dados com cerca de 36.600 registos que permitiu reduzir o tempo de execução do algoritmo, já que a execução do *webservice* que fornece a distância entre dois pontos geográficos, ao servidor de Google, é uma operação geralmente mais lenta do que uma consulta local à base de dados.

As principais funcionalidades do sistema de gestão são: apresentar os ecopontos da rede num mapa, diferenciados por cores consoante o circuito, consultar as estatísticas dos níveis de enchimento dos ecopontos nos últimos dez dias, adicionar e remover ecopontos ao sistema, criar novos circuitos de recolha e, por fim, obter rotas óptimas de recolha consoante os níveis actuais de enchimento dos ecopontos. O processo de optimização de rotas pode ser efectuado de três formas: de acordo com um nível de enchimento mínimo inserido pelo responsável do sistema, de acordo com um intervalo de valores e de acordo com os valores mínimos definidos por cada ecoponto.

No desenvolvimento de qualquer sistema de informação, a segurança e a privacidade dos dados é uma preocupação constante. Com o intuito de garantir que apenas os utilizadores

devidamente autorizados conseguissem aceder à página de gestão e administração do sistema, foi imperativo criar um método de autenticação seguro e eficaz, que impedisse que pessoas não autorizadas conseguissem aceder a informação privada. Com este objectivo, a cada pessoa com acesso à plataforma é-lhe atribuído um nome de utilizador, que corresponde ao endereço de correio eletrónico e uma palavra-chave. O sistema encarregar-se-á de validar os dados introduzidos e apenas os utilizadores que se encontrem registados na base de dados e que tenham inserido correctamente a sua palavra-chave conseguem ter total acesso à plataforma.

Na página inicial (Figura 3.21) são apresentados todos os ecopontos da rede e a localização da EMAC. A sua disposição pelo mapa e a possibilidade de navegação ao longo da área geográfica onde estão instalados os contentores dos quais a EMAC é responsável, torna a sua identificação mais fácil, uma vez que se obtém uma melhor perspectiva, não só da localização do ecoponto isolado, mas também a localização dos ecopontos vizinhos.

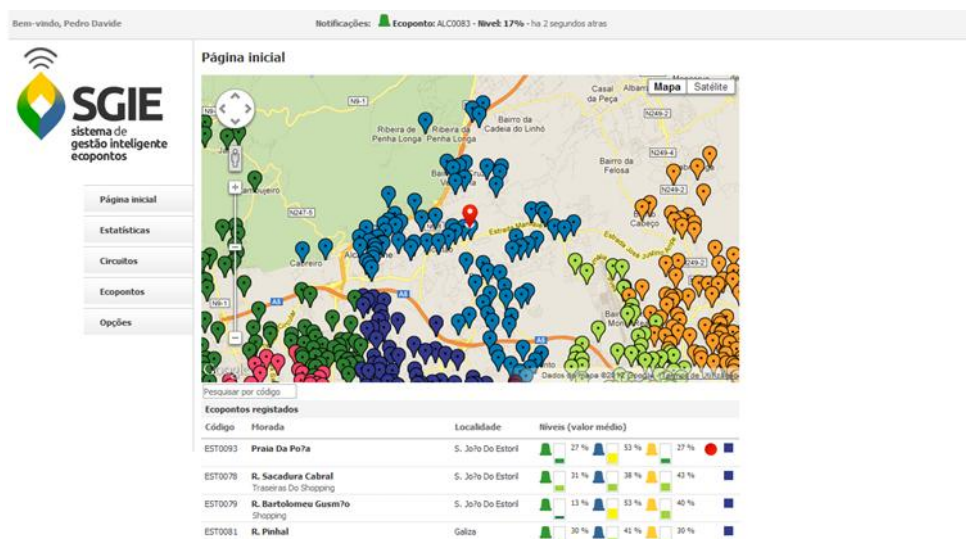


Figura 3.21 - Página inicial da plataforma de gestão

Todos os dados relativos aos ecopontos pertencentes à rede foram disponibilizados pela referida empresa, inseridos no sistema e identificados sob a forma de tabela (Figura 3.22), com as seguintes entradas:

- Os códigos dos ecopontos (letras iniciais da localidade e números sequenciais)
- Morada
- Localidade
- Nível de enchimento actual
- Última data de verificação de nível
- Cor identificativa do circuito a que pertencem

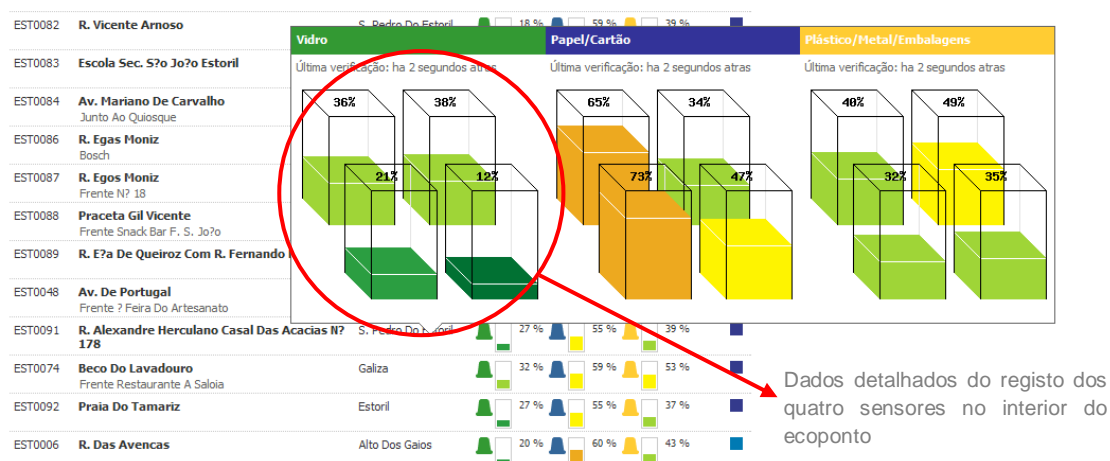


Figura 3.22 - Dados de identificação dos ecopontos da rede

O sistema *web-based* recebe as medições de cada ecoponto, registrando-as na base de dados. A infraestrutura em cada ecoponto é configurada para medir e enviar dados com um intervalo de uma hora. Através do código individual de cada ecoponto é possível acompanhar, na página de Estatísticas, a evolução periódica dos níveis de enchimento obtidos. Um utilizador registado no sistema pode escolher qual o dia em que pretende conferir os registos de enchimento, sendo que são disponibilizados para consulta os registos respeitantes aos últimos dez dias. Embora possa ser considerado uma limitação do sistema, o intervalo de tempo de dez dias permite, ainda assim, em conjugação com *software* de análise estatística, obter a informação diária dos níveis de enchimento, por forma a criar um histórico de registos, em que seja possível obter estatísticas não só no intervalo de tempo especificado mas também em outros, como por exemplo, mensais ou anuais. A Figura 3.23 ilustra um exemplo da evolução diária dos registos de enchimento de um ecoponto.

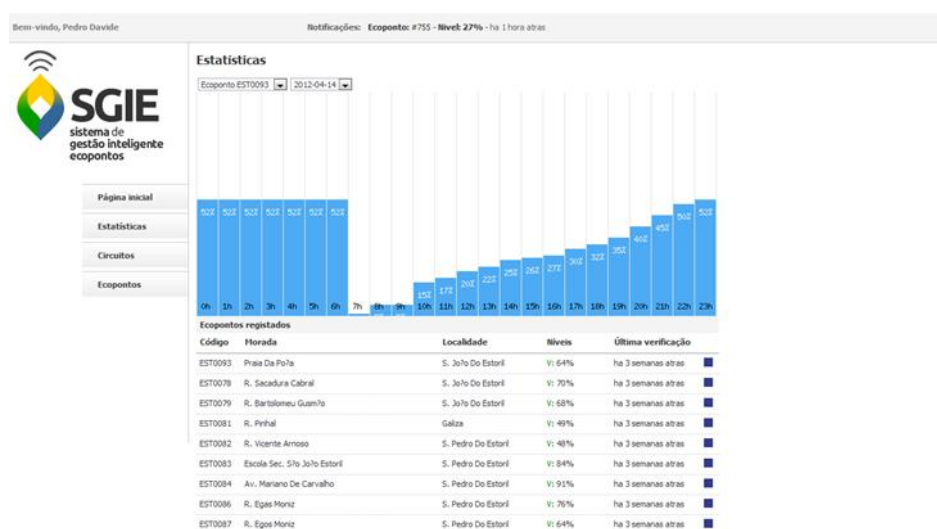


Figura 3.23 - Exemplo da evolução diária do enchimento de um ecoponto

Como já foi discutido anteriormente, são raras as vezes em que um sistema de gestão de uma rede de ecopontos não se modifique desde a sua implementação. Para quem é responsável por essa

gestão, é necessário ter em conta factores que muitas vezes se alteram ao longo do tempo, como a experiência diária da equipa de recolha e os problemas que encontram, entre os quais, ecopontos mal distribuídos fisicamente, que ficam aquém de corresponder às necessidades de um determinado foco populacional. Estes factores contribuem para que a rede de ecopontos inicial seja alterada. Desta forma, é estritamente necessário que o sistema de gestão seja dinâmico, ao ponto de corresponder às alterações que muitas vezes são necessárias.

De acordo com esta necessidade, foi desenvolvida uma página contendo rotinas destinadas à gestão dos ecopontos e que permitem as opções básicas de qualquer sistema de gestão, tais como: adicionar, remover e editar as definições dos ecopontos. Ao adicionar um novo ecoponto, a plataforma *web-based* apresenta o mapa da rede da empresa ao utilizador, e sugere que arraste a imagem para o local onde o mesmo se destina. Nesse momento, o sistema identifica automaticamente a morada e as coordenadas GPS pelas quais o ecoponto se identificará no futuro. De seguida, é pedido ao utilizador que introduza os seguintes campos de identificação do novo ecoponto a adicionar:

- Código do ecoponto
- Dimensões físicas, em centímetros, do comprimento, largura e altura.
- Tipo de ecoponto (vidro, papel e cartão ou embalagens)
- Número GSM

Quando, por alguma razão, a existência de um determinado ecoponto deixe de fazer sentido para o sistema, é possível, de forma rápida e eficaz, removê-lo da base de dados, deixando assim de estar visível na plataforma, sendo também removido de qualquer circuito de recolha. A Figura 3.24 ilustra o procedimento de adicionar e remover ecopontos.

The figure consists of two side-by-side screenshots of a web application interface for managing collection points.

The left screenshot, titled "Adicionar Ecoponto", shows a map of Cascais, Portugal, with a red pin indicating a location. Below the map, there are input fields for the address ("R. do Depósito 2-10, 2645 Cascais, Portugal"), coordinates ("Lat/Lng (38.73558195690439, -9.398149158813453)"), dimensions ("Dimensões (C/L/A) (cm)"), type ("Tipo" dropdown menu), and GSM number ("Número GSM"). There are "Adicionar" and "Cancelar" buttons at the bottom.

The right screenshot, titled "Remover Ecoponto", shows a list of existing collection points with checkboxes for selection. The list includes:

- ☐ PRAIA DA POZA (38.70261070990805, -9.392011477176652) V
- ☐ R. SACADURA CABRAL (38.70530471839824, -9.38587257043082) V
- ☐ R. BARTOLOMEU GUSMÃO (38.70560133308035, -9.385386786369281) V
- ☐ R. PINHAL (38.70810967450388, -9.385964561832452) V
- ☐ R. VICENTE ARINOSO (38.7009769285432, -9.383452824398091) V
- ☐ ESCOLA SEC. SPO JOÃO ESTORIL (38.70182490296629, -9.38402431646341) V
- ☐ AV. MARIANO DE CARVALHO (38.701960962400655, -9.385238083328204) V
- ☐ R. EGAS MONIZ (38.69901784441006, -9.381111485775023) V
- ☐ R. EGOS MONIZ (38.70083521283507, -9.380317477176732) V
- ☐ PRACETA GIL VICENTE (38.699613171591004, -9.381777066131576) V

There are "Remover" and "Cancelar" buttons at the bottom.

Figura 3.24 - Opções de adição e remoção de um ecoponto ao sistema

A estas opções essenciais, de adicionar e remover elementos, presentes em qualquer sistema de gestão, e tendo em consideração que não se está a lidar com um sistema estático, acrescenta-se a opção de alterar informação previamente inserida. Neste sentido, dados relativos à identificação individual dos ecopontos podem ser alterados a qualquer momento, por forma a corresponder às exigências do sistema. De referir também que na página de definições de um ecoponto, está associada uma propriedade importante, que corresponde à definição do nível mínimo de enchimento para o qual o ecoponto seja recolhido pelos veículos. Este campo, de preenchimento obrigatório e com um valor maior que zero, adquire uma importância vital quando o sistema calcula as rotas mais curtas para um circuito de recolha pré-estabelecido, uma vez que é com base neste valor que o algoritmo determina quais os ecopontos em que o nível de enchimento recebido é maior do que aquele que foi definido e, neste caso, adicionado à rota.

Num sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, os ecopontos são identificados no sistema e podem pertencer a um ou mais circuitos. Geralmente, aquando a elaboração de um circuito de recolha, os ecopontos a associar, são escolhidos conforme a região geográfica onde estão instalados. A plataforma *web-based* desenvolvida permite a possibilidade de criar e remover circuitos em qualquer momento, bem como escolher quais os ecopontos que lhes pertencem, de uma forma rápida e intuitiva para qualquer utilizador. Os circuitos são identificados pelos seguintes campos:

- ID do circuito (algarismo)
- Nome
- Matrícula do veículo (de acordo com o sistema geral de numeração utilizado em Portugal)
- Nome do motorista ou responsável pela equipa
- Cor de identificação do circuito (atribuída automaticamente)

Na página inicial de gestão de circuitos (Figura 3.25), na parte superior, são apresentadas as opções de adicionar e remover circuitos de recolha e, na parte inferior, apresentada a lista de circuitos registados na base de dados e a disposição dos ecopontos que lhes pertencem, diferenciados pela cor identificativa do circuito.

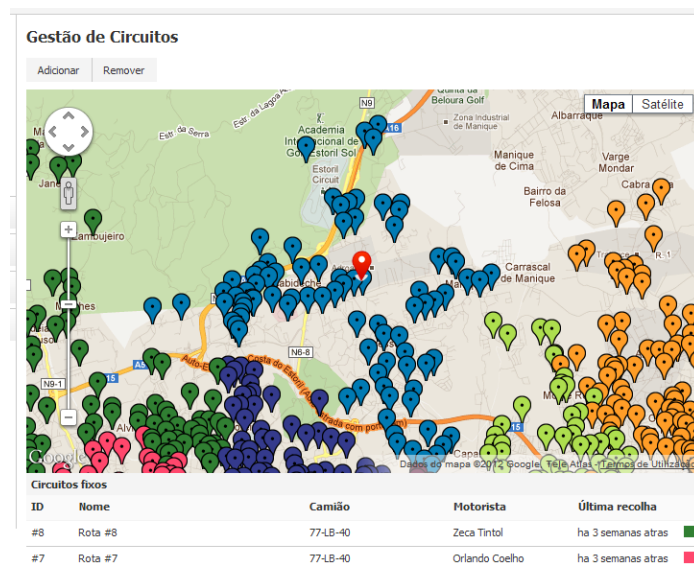


Figura 3.25 - Página web-based de gestão de circuitos de recolha

De acordo com os estudos efectuados no decorrer desta dissertação, comprovou-se uma constante procura na optimização de rotas de recolha de resíduos, com o objectivo de poupar recursos humanos, tempo, combustível e desgaste das viaturas. Neste trabalho, aplicado ao caso de estudo da EMAC, procurou-se também uma forma de reduzir custos, nomeadamente por via de optimização de rotas. Utilizando um algoritmo matemático, procurou-se determinar boas soluções para a rota de recolha consoante os valores de nível de enchimento enviados pela aplicação protótipo de um ecoponto inteligente, e as distâncias reais entre os ecopontos que fazem parte do processo de cálculo.

O problema proposto foi identificado e é possível relaciona-lo com o conhecido *Travelling Salesman Problem* (TSP), que consiste em determinar a menor distância possível que um carteiro tem de efectuar na distribuição do correio. Ou seja, dada uma lista de vários locais e as respectivas distâncias, a tarefa consiste em encontrar a rota mais curta possível que permita ao carteiro visitar todos os locais indicados. Desta forma, é perfeitamente possível enquadrar, neste exemplo típico de problemas de optimização de distâncias, onde neste caso as localizações dos ecopontos entendem-se como os locais em que haveria correio para entrega, e as rotas dos veículos correspondendo aos percursos que o carteiro teria que efectuar. Uma das desvantagens no uso desta solução de optimização é o problema dos recursos computacionais necessários pois, quando existe um número elevado de locais, o cálculo das diversas trajectórias tem um crescimento, em termos de tempo de execução do algoritmo, exponencial. O número total de trajectórias a calcular entre locais está inteiramente relacionado com o número de locais, sendo que esse número é dado pela Equação 3.1, em que n é o número de locais.

$$\text{Tempo de execução} = \frac{(n-1)!}{2} \quad (3.1)$$

Utilizando a Equação 3.1, construiu-se a Tabela 3.7 onde se apresentam alguns exemplos do número de viagens possíveis, consoante o número de locais a visitar, e o tempo de execução computacional correspondente.

Tabela 3.7 - Comparação entre tempo de processamento computacional consoante o número de locais utilizando o método “*Salesman Travelling Problem*”

N.º Locais	N.º de viagens	Tempo de execução
5	12	12 Microssegundos
8	2520	2,5 Milissegundos
10	181.440	0,18 Segundos
12	19.958.400	20 Segundos
15	87.178.291.200	12,1 Horas
18	177.843.714.048.000	5,64 Anos
20	60.822.550.204.416.000	1927 Anos

Conforme é possível constatar pela referida tabela, a partir de um número de locais superior a doze torna-se praticamente insustentável a utilização deste algoritmo. Desta forma, para que fosse possível utilizar este princípio aplicado ao propósito deste trabalho, foi necessário estabelecer um limite máximo de locais em que fosse viável o tempo de execução. A solução encontrada assenta em duas fases: a primeira consistiu em desenvolver um algoritmo que estabelecesse grupos de locais, com um número máximo de cinco locais por grupo, e calculasse qual a rota mais curta que visitasse todos os ecopontos de cada grupo. A segunda consiste em aplicar o princípio do *Travelling Salesman Problem* aos ecopontos de cada grupo. Na fase inicial, os ecopontos são adicionados aos grupos consoante a menor distância entre eles, para o caso de a rota ser calculada a partir de distância mais curta ou consoante o tempo de viagem, no caso de se optar por calcular a rota mais rápida. Na página de configurações da plataforma *web-based*, é possível especificar o valor, definido em unidades no Sistema Internacional (SI), metro ou segundo, consoante o caso, a utilizar na execução do algoritmo no processo de criação dos grupos.

A implementação do algoritmo funciona da seguinte forma: para o primeiro grupo, é calculada, de entre os contentores que têm um nível de enchimento que justifique a recolha, a distância do ecoponto que está mais perto do local de partida das viaturas de recolha, assegurando assim que é percorrida a menor distância possível. De seguida, o algoritmo calcula quais os ecopontos que estão num raio inferior à unidade especificada e adiciona ao grupo, se não existir nenhum registo, a variável “raio”, incrementa uma unidade e o processo repete-se terminando quando o grupo alcançar o número de cinco ecopontos. A partir do último ecoponto do grupo, é calculado, à semelhança do que aconteceu anteriormente, qual o próximo ecoponto que se encontra a uma menor distância, sendo a partir deste que será calculado o novo grupo. O algoritmo termina quando todos os

ecopontos estiverem agrupados. A Figura 3.26 ilustra o exemplo de funcionamento de criação de grupos desta primeira fase deste algoritmo.

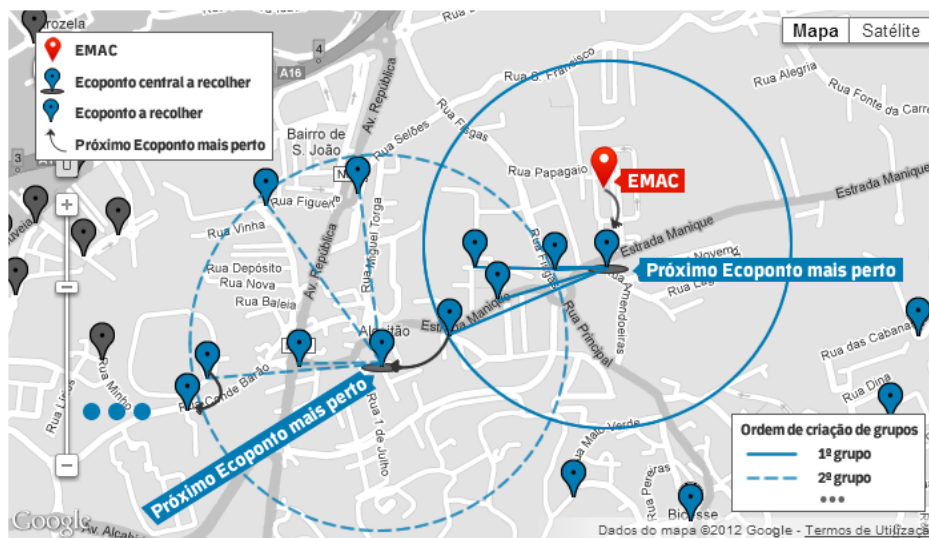


Figura 3.26 - Exemplo da criação de grupos de ecopontos com cinco elementos

Depois de identificados todos os grupos, o método *Travelling Salesman Problem* é então aplicado individualmente a cada grupo e definido assim qual o percurso mais curto a efectuar na recolha. Esta informação é depois disponibilizada ao utilizador (Figura 3.27) identificando os vários pontos de paragem e a respectiva distância e tempo de viagem entre eles. O utilizador responsável pela plataforma pode ainda imprimir esta informação em papel e entregá-la à equipa de recolha.

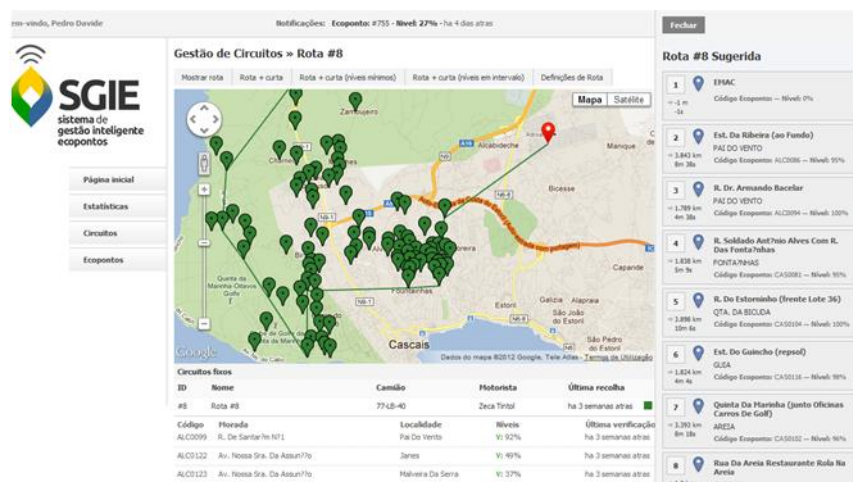


Figura 3.27 - Página de apresentação da sugestão de rota de recolha

Para além da implementação deste algoritmo, cuja principal característica é a de calcular dentro de um grupo de local qual o caminho a percorrer entre os pontos de paragem e retornar o mais curto, foi implementada também uma alternativa que recorre a um algoritmo de distância mais curta entre pontos de paragem. Este algoritmo resolve o problema do caminho mais curto, calculando o menor

percurso entre cada ponto de paragem. O seu funcionamento é simples: com base na lista de ecopontos a recolher, calcula, a partir da localização da sede da empresa, o ecoponto mais próximo, sendo este o primeiro a recolher. O processo repete-se em cada ponto de paragem, até que a lista de ecopontos seja completamente percorrida. A Figura 3.28 ilustra o funcionamento deste algoritmo.



Figura 3.28 - Exemplo de funcionamento do algoritmo de distância mais curta

Embora este seja um processo intuitivo, apresenta algumas desvantagens, quando comparado com o algoritmo assente no método *Travelling Salesman Problem*. A Tabela 3.8 apresenta as características de cada algoritmo.

Tabela 3.8 - Vantagens e desvantagens de utilização dos algoritmos implementados

Algoritmo	Vantagens	Desvantagens
Travelling Salesman Problem	<ul style="list-style-type: none"> - Agrega os ecopontos a recolher em grupos, de acordo com um critério de proximidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexidade de implementação - A velocidade de execução e a sua eficácia variam consoante os parâmetros de configuração utilizado, para além do tamanho da lista de ecopontos a recolher
Percurso mais curto entre pontos	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidade de execução mais rápida - Assegura sempre o menor trajecto entre pontos de paragem 	<ul style="list-style-type: none"> - Não contempla a proximidade entre ecopontos, procura sempre o mais perto, ignorando os restantes

A partir da tabela anterior, o utilizador da plataforma fica consciente dos principais pontos positivos e negativos de cada algoritmo e a partir do um critério de satisfação definido, pode optar por qual o

algoritmo que deseja que o sistema tenha em consideração no cálculo das rotas de recolha, de acordo com os requisitos que pretende.

O sistema de gestão desenvolvido permite, além da optimização de rotas de recolha a partir da menor distância, introduzir o factor tempo no cálculo, isto é, o utilizador pode optar por obter os percursos mais curtos ou os mais rápidos. A implementação e o funcionamento do algoritmo é o mesmo, a única diferença é que não é a variável distância que é tida em conta, mas sim o tempo de viagem entre os ecopontos.

Na página individual de um circuito de recolha é apresentada a lista de todos os ecopontos pertencentes ao circuito, com a informação de algumas características entre as quais o seu nível de enchimento actual e a data da última verificação. O utilizador pode obter uma perspectiva gráfica da rede de ecopontos que fazem parte do circuito, e utilizando o algoritmo descrito anteriormente, optar por obter a melhor rota de recolha utilizando a opção menor distância ou o tempo de viagem mais rápido. Em seguida o utilizador pode obter a melhor rota de recolha para o circuito de três formas:

- **Inserir manualmente um valor mínimo:** através desta opção é apresentado ao utilizador um campo no qual este insere qual o nível mínimo para a recolha que pretende. Todos os ecopontos que apresentarem um nível de enchimento superior a esse nível mínimo são incluídos no cálculo.
- **Intervalo de valores:** o utilizador define um intervalo de valores para a recolha, indicando um valor mínimo e um máximo. Os ecopontos que apresentem um nível de enchimento que se encontre dentro desse intervalo são incluídos no algoritmo.
- **Valores mínimos:** os ecopontos recolhidos são aqueles que apresentam um nível de enchimento superior ao nível mínimo para recolha que está programado nas suas definições.

Ainda na página do circuito de recolha, os ecopontos podem ser alterados a qualquer momento na área de definições. Ao utilizador é apresentada a lista dos ecopontos que actualmente estão definidos como pertencentes àquele circuito, e uma lista dos restantes ecopontos. Utilizando um sistema *drag and drop* o utilizador pode arrastar os ecopontos para os adicionar ou remover ao circuito, sendo que a plataforma guarda todas as alterações efectuadas automaticamente.

Após apresentada ao utilizador a sugestão automática para a rota de recolha, com a informação de quais os ecopontos a recolher, a distância total percorrida e o respectivo tempo despendido, o utilizador da plataforma pode ainda fazer um ajuste manual, tal como ilustra a Figura 3.29.



Figura 3.29 - Exemplo de Ilustração do ajuste manual da sugestão da rota de recolha

A opção de ajuste manual da sugestão da rota de recolha permite alterar a ordem de recolha dos contentores. Esta justifica-se, pois a empresa responsável pela recolha tem um grande conhecimento da sua rede de recolha e os locais dos seus equipamentos, como tal, cria por vezes hábitos de recolha consoante situações externas que não são tidas em conta no cálculo computacional automático. Essas situações, que podem corresponder a estradas interditas temporariamente, a certos circuitos mais favoráveis à recolha em detrimento do sugerido ou ainda contentores cuja recolha não seja prioritária, podem ser tidas em conta no ajuste manual da rota sugerida. A principal função do ajuste manual é o de alterar a ordem de recolha dos ecopontos ou ainda prescindir a recolha de determinados ecopontos. A informação da distância percorrida e tempo despendido é actualizada consoante a opção do utilizador da plataforma.

3.3.4 Verificação de requisitos cumpridos

Após a identificação prévia dos principais requisitos desejáveis na implementação de todo o sistema de gestão, importa salientar se os mesmos foram cumpridos ou se por alguma razão não foram possíveis de concretizar. Os requisitos foram identificados como funcionais ou não funcionais e aplicam-se quer no desenvolvimento do sistema protótipo de um ecoponto inteligente, quer na implementação da plataforma de gestão *web-based*.

Ao longo da realização do ecoponto inteligente os principais requisitos foram cumpridos, entre os quais o cálculo do nível de enchimento de um ecoponto porque, embora os sensores funcionem de acordo com o idealizado electronicamente, o cálculo é feito com base num raio de alcance baixo pelo que a estimativa do nível de enchimento é feita de forma aproximada e de acordo com o valor medido pelo sensor no seu respectivo raio de alcance. Por forma a tentar colmatar o mais possível esta imprecisão, foram utilizados mais sensores do que inicialmente projectado, com vista a aumentar as fontes de informação do nível de enchimento em diferentes áreas do ecoponto. Esta imprecisão terá tendência a diminuir com um possível aumento do número de sensores implementados no sistema protótipo.

Outro requisito pretendido aquando da idealização do sistema foi o de transmitir a informação do nível de enchimento de cada ecoponto em tempo real. No entanto, não se considerou importante o envio dessa informação com um período curto de tempo já que o volume de material num ecoponto não tem grande variação em certas alturas do dia. Assim, foi-se à procura de um intervalo de tempo em que fosse razoável o envio da informação para posterior consulta. O estabelecido foi que cada ecoponto envie a informação do seu nível de enchimento actual com um intervalo de uma hora.

No que diz respeito à usabilidade, procurou-se que a plataforma *web-based*, onde são disponibilizadas todas as opções de gestão da rede de ecopontos, apresentasse uma estrutura simples e que permitisse ao utilizador identificar instantaneamente as funcionalidades pretendidas, através de uma navegabilidade rápida e intuitiva ao utilizador. Acredita-se que este requisito tenha sido cumprido em pleno.

4. Exploração e validação

Neste capítulo, descreve-se a estratégia para a validação da infraestrutura de suporte e gestão de uma rede de ecopontos, desenvolvida ao longo deste trabalho, recorrendo nomeadamente à simulação.

A estratégia utilizada para a validação consistiu em definir um valor aleatório correspondente ao enchimento diário de material reciclável em cada ecoponto da rede da EMAC. Este valor, que pretende simular a quantidade de lixo depositada num ecoponto pela população, está compreendido num intervalo de valores, cujo número mínimo e máximo foram determinados consoante a actual rotina de recolha da empresa – uma vez que há material reciclável que é recolhido com maior frequência.

Pretende-se assim, simular o funcionamento real de uma rede de ecopontos e validar a utilização da infraestrutura que permite determinar o estado de enchimento de cada equipamento evitando uma viagem em vão na recolha do seu material.

4.1 Descrição do cenário de aplicação

A gestão e recolha de RSU em Portugal, de acordo com o descrito no Artigo 26.º da Lei n.º 159/99, de 14 de Setembro da Assembleia da República, são geralmente da responsabilidade dos municípios. A forma de recolha e transporte dos sistemas actuais são muito semelhantes entre si em todo o território nacional, e baseiam-se em redes de contentores de recolha selectiva – vulgarmente conhecidos por ecopontos – e de resíduos indiferenciados, distribuídos pelas áreas urbanas.

A recolha dos resíduos dos contentores é efectuada com uma certa periodicidade por veículos rodoviários de mercadorias devidamente preparados para a carga a transportar, que seguem um itinerário previamente definido, sequencialmente, até que tenham carregado a carga máxima possível de transportar ou que cheguem ao final do itinerário. Quer seja no final do itinerário, ou no limite da capacidade máxima, os resíduos recolhidos são depositados num depósito final ou intermédio, que pode não corresponder às instalações de origem.

Como forma de validação, esta dissertação propõe-se a estudar e analisar todas as partes integrantes de um sistema de gestão de recolha selectiva de RSU dos resíduos mais comuns: Papel e Cartão, Plástico/Metal/Embalagens e Vidro.

O estudo foi realizado na rede de 755 contentores de ecoponto de recolha no qual a EMAC é responsável no concelho de cascais e que se ilustra no mapa apresentado na Figura 4.1.

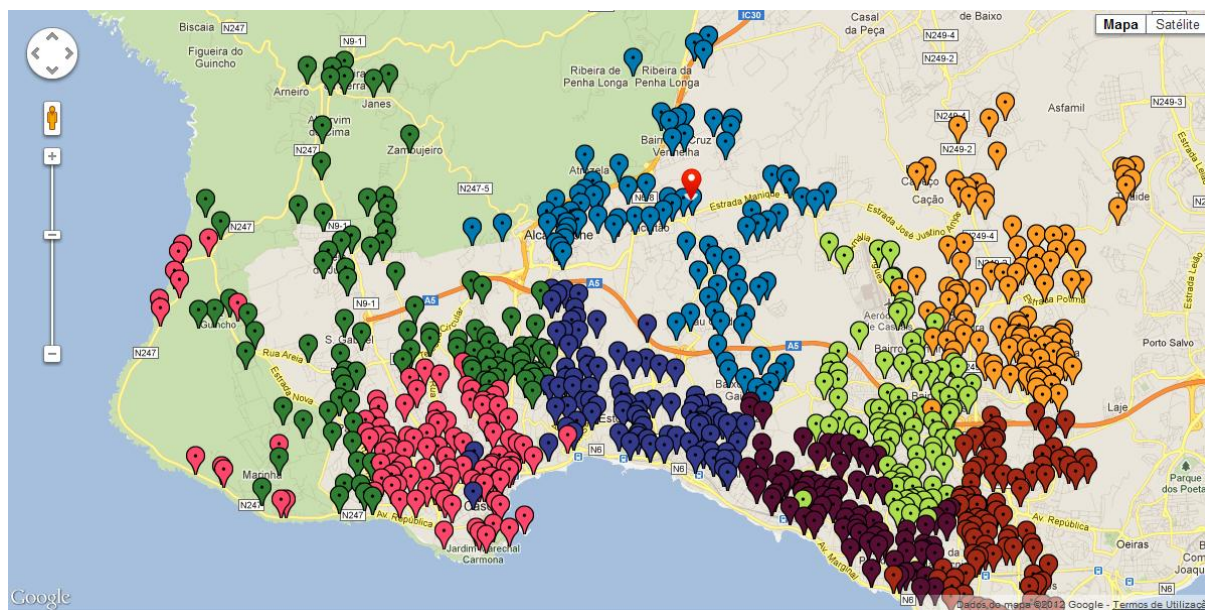


Figura 4.1 - Mapa da rede de Ecopontos da EMAC

Os contentores da empresa foram distribuídos por oito circuitos, identificados com cores diferentes, pré-definidos e inalteráveis, sendo recolhidos duas vezes por semana com a seguinte frequência: a cada segunda-feira é recolhido o ecoponto destinado ao Papel e Cartão em todos os ecopontos e, aquando da recolha, registado o nível do ecoponto Plástico/Metal/Embalagens. Na terça-feira é efectuada a recolha dos ecopontos de plástico, metal e embalagens onde os registos da véspera foram acima de 75%. Na quarta-feira não há recolhas e quinta-feira e sexta-feira o processo de recolha de papel e cartão e embalagens é idêntico ao de segunda-feira e terça-feira. Ao sábado é feita a recolha em sítios pontuais onde, por experiência, se calcula que estejam cheios. Aos domingos não há recolha. Cada circuito é caracterizado por um conjunto de ecopontos, sendo que alguns ecopontos fazem parte de outros circuitos.

Por forma a realizar o estudo e análise do sistema actualmente utilizado pela EMAC, utilizando a metodologia proposta por esta dissertação, os ecopontos e respectivos circuitos foram inseridos na plataforma *web-based* desenvolvida e todos os testes foram efectuados a partir desta. Tal como já foi referido, grande parte dos orçamentos dos municípios ou empresas de ambiente, destina-se ao combustível consumido pelos veículos de transporte. A EMAC tem quatro viaturas para a recolha de Papel/Cartão e Plástico/Metal e uma viatura para a recolha do Vidro, tal como mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Características e turnos de recolha dos veículos da EMAC

Veiculo	Carga a transportar	Turno de recolha
Veiculo A	Papel/Cartão e Plástico/Metal/Embalagens	Manhã
		Tarde
Veiculo B		Manhã
		Tarde
Veiculo C		Manhã
		Tarde
Veiculo D		Manhã
		Tarde
Veiculo E	Vidro	Manhã

A partir dos valores mensais de despesa em combustível dos veículos de transporte, informação disponibilizada pela EMAC e apresentados na Tabela 4.2, procurou-se uma forma de minimizar quanto possível essa despesa.

Tabela 4.2 - Valores mensais de quilómetros e combustível dos veículos em 2011

	Distância percorrida (km)	Combustível (L)	Combustível (€)
Janeiro	11.738	9.339,9	11.776,34
Fevereiro	6.504	4.879,71	6.256,58
Março	5.280	3.106,61	4.167,57
Abril	7.061	3.632,95	4.945,83
Maio	4.848	3.340,16	4.138,88
Junho	6.340	3.610,01	4.761,71
Julho	6.206	2.567,85	3.389,56
Agosto	5.931	4.411,69	5.896,67
Setembro	7.237	3.596,51	4.748,14
Outubro	7.403	5.238,05	7.035,5
Novembro	6.741	3.217,35	4.414,12
Dezembro	6.758	3.507,19	4.825,2
Total	82.047	50.444,98	66.356,1

De acordo com a tabela anterior, é possível constatar que a variação dos números de quilómetros percorridos pelas viaturas de recolha mensalmente não é significativa. A maior excepção

nos números apresentados é o mês de Janeiro onde a variação é maior, acreditando-se que seja devido a tratar-se de um mês posterior a um período tradicional de festas, em que são produzidas e depositadas maiores quantidades de lixo. No que diz respeito à quantidade de combustível e respectivo custo, os números são, naturalmente, proporcionais à quantidade de quilómetros percorridos pelas viaturas.

A partir destes números é possível calcular a média de quilómetros e quantidade de combustível gastos mensalmente, que serão usados para posterior análise dos resultados obtidos, utilizando o sistema proposto por esta dissertação.

Tem-se assim que:

Média do número de quilómetros:

$$\sum \frac{11738 + 6504 + 5280 + 7061 + 4848 + 6340 + 6206 + 5931 + 7237 + 7403 + 6741 + 6758}{12} = 6.837,25 \text{ km (4.1)}$$

Média do número de litros de combustível:

$$\sum \frac{9339,9 + 4879,71 + 3106,61 + 3632,95 + 3340,16 + 3610,01 + 2567,85 + 4411,69 + 3596,51 + 5238,05 + 3217,35 + 3507,19}{12} = 4.203 \text{ l (4.2)}$$

Média da despesa financeira:

$$\sum \frac{11776,34 + 6256,58 + 4167,57 + 4945,83 + 4138,88 + 4761,71 + 3389,56 + 5896,67 + 4748,14 + 7035,5 + 4414,12 + 4825,2}{12} = 5.529,675 \text{ € (4.3)}$$

Estes valores serão tomados como referência para comparação com outros correspondentes, que se podem obter utilizando a infraestrutura desenvolvida.

4.2 Resultados obtidos

4.2.1 Valores da utilização do sistema actual de recolha da EMAC

Actualmente, a EMAC é responsável por uma rede de ecopontos, que acumulam os tipos mais comuns de resíduos, distribuídos por oito circuitos. A Tabela 4.3 caracteriza os circuitos, denominados nesta dissertação por algarismos (de 1 a 8), com o número total de ecopontos correspondente e a respectiva frequência de recolha semanal consoante o tipo de ecoponto.

Tabela 4.3 - Rotas de recolha de resíduos sólidos urbanos da rede de ecopontos da EMAC

Circuito	N.º de Ecopontos	Horário de recolha	Frequência de recolha
1	92	06:00 - 12:30	<p>Papel e cartão</p> <p>Duas vezes por semana (segunda-feira e quinta-feira)</p> <p>Embalagens</p> <p>Duas vezes por semana (terça-feira e sexta-feira)</p> <p>Vidro</p> <p>Aproximadamente uma vez por semana</p>
2	101	13:00 - 19:30	
3	93	13:00 - 19:30	
4	88	13:00 - 19:30	
5	80	06:00 - 12:30	
6	92	06:00 - 12:30	
7	108	06:00 - 12:30	
8	101	13:00 - 19:30	

De acordo com a informação de frequência de recolhas indicada pela empresa, os seus veículos recolhem obrigatoriamente duas vezes por semana, todos os ecopontos de Papel e Cartão, qualquer que seja o seu estado de enchimento, percorrendo assim todos os ecopontos pertencentes ao circuito. No caso dos ecopontos de Plástico/Metal e Embalagens, o número de ecopontos recolhidos depende do nível de enchimento registado na véspera pela equipa de recolha. Assim, são recolhidos os ecopontos que apresentarem um nível de enchimento superior a 75%. Por fim, no caso dos ecopontos de Vidro, a recolha é feita apenas uma vez por semana.

Os percursos exactos de recolha dos circuitos não estão pré-estabelecidos pela empresa, uma vez que são executados por decisão da equipa de recolha que efectua o serviço de acordo com a experiência, assegurando que todos os ecopontos do circuito são visitados (pela equipa). Desta forma, não é possível obter a informação exacta do número de quilómetros obrigatório que os veículos de recolha fazem por cada circuito.

4.2.2 Cenários de aplicação do sistema otimizado proposto

Devido ao elevado número de ecopontos pertencentes à EMAC e à natural impossibilidade de criar um sistema protótipo para cada um, não seria de todo possível criar um cenário de aplicação real que, naturalmente, viria a cumprir de uma forma mais rigorosa o teste comparativo entre o sistema de recolha actualmente utilizado pela empresa e o sistema desenvolvido nesta dissertação. Desta forma recorreu-se a um cenário de simulação para validar o sistema.

Além do elevado número de ecopontos da rede, outra dificuldade que surge na aplicabilidade do sistema proposto, é a incerteza quanto à evolução do volume de material que é depositado nos ecopontos pelos cidadãos. A própria empresa não consegue estimar um valor do tempo necessário para encher um ecoponto, até porque este processo depende de diferentes factores, entre os quais: a densidade populacional, distribuição geográfica dos ecopontos ou predisposição da população para reciclar.

No sentido de aproximar esta simulação ao caso real, foi necessário, de acordo com a frequência de recolha indicada pela empresa para cada tipo de material, assumir um crescimento linear na quantidade de material depositado nos ecopontos, consoante o seu tipo e o número de recolhas semanais. A partir deste princípio considerou-se que, quer os ecopontos de Papel e Cartão, quer os de Plástico, Metal e Embalagens levariam três dias a encher e os ecopontos respeitantes ao Vidro levariam seis dias.

Assumindo assim esta característica linear na evolução do enchimento de um ecoponto, consoante o seu tipo, definiu-se um intervalo percentual de valores e, dentro desses parâmetros, o sistema determinará um valor aleatório que corresponderá, nesta simulação, ao material depositado num determinado ecoponto por dia. Os intervalos determinados para cada tipo de material são os seguintes:

- Papel e Cartão: valor de enchimento diário entre 6% e 26%
- Plástico, Metal e Embalagens: valor de enchimento diário entre 6% e 26%
- Vidro: valor de enchimento diário entre 3% e 13%;

Utilizando estes parâmetros foi desenvolvido, paralelamente, um programa que, executado periodicamente, simula o enchimento diário de todos os ecopontos da rede da EMAC.

Assim, e por forma a cumprir com o que foi considerado, e uma vez que em cada equipamento há um sistema de quatro sensores que, individualmente, medem o nível de enchimento na sua área de actuação, o programa adiciona ao registo da véspera um valor aleatório, no intervalo de valores definido para o tipo de material. Considerou-se que a média dos quatro valores adicionados corresponde então ao enchimento diário do ecoponto.

Após definidos todos os parâmetros, a concepção dos cenários de aplicação consistiu em observar, num período de quatro semanas, a evolução diária dos níveis de enchimento dos ecopontos, a recolha dos ecopontos com um valor de enchimento **superior a 70%**, valor aproximado ao valor de recolha normalmente definido pela EMAC de 75%, e registar os quilómetros percorridos pelas viaturas, o número de ecopontos recolhidos e o tempo total despendido pela equipa de recolha para a operação. No dia de recolha de um determinado tipo de material, o valor de enchimento do ecoponto correspondente é definido como zero, o que significa a recolha do material do seu interior.

O algoritmo utilizado para o cálculo das rotas de recolha foi o algoritmo de percurso mais curto entre pontos de paragem que, embora apresente algumas desvantagens em relação ao algoritmo desenvolvido e sustentado pelo princípio *Travel Salesman Problem*, obteve, em testes preliminares, melhores resultados no número de quilómetros percorridos e no tempo despendido para a recolha.

A Figura 4.2 ilustra um exemplo da página de sugestão de rota, para a recolha dos Ecopontos de Vidro com um valor de enchimento superior a 70%.



Figura 4.2 - Exemplo da página de sugestão da rota de recolha

Tal como ilustra a figura anterior, do lado direito é possível consultar a lista com a consequente ordem de recolha dos ecopontos cujo enchimento se encontrar num nível percentual superior a 70%. É apresentado ao utilizador da plataforma alguma informação sobre cada contentor, tal como, a morada onde este se encontra instalado, a distância e o tempo para o seguinte ponto de recolha. Além disso, é possível ainda alterar individualmente, a ordem de recolha dos ecopontos, arrastando o ecoponto para a ordem pretendida. Na parte superior da lista, encontram-se algumas opções, das quais se destaca a possibilidade de criar a rota de recolha de forma manual, pois muitas vezes o utilizador da plataforma, trabalhador da empresa de ambiente, possui um melhor conhecimento de qual o caminho a percorrer na recolha, considerando imprevistos pontuais na circulação rodoviária. Na parte central da página, é apresentado o mapa da região no qual a linha a verde indica a ordem do percurso a realizar e no qual os pontos de paragem estão indicados com um *icon* diferente. Como forma de auxiliar o utilizador da plataforma a tomar a melhor decisão do trajecto, é possível ainda informar quais os cinco ecopontos mais próximos a partir de um determinado ecoponto, como indicam as linhas a vermelho.

Assim, a simulação do cenário de aplicação foi aplicada aos **oito circuitos** de recolha definidos pela EMAC e os resultados foram obtidos a partir da opção de gerar um circuito de recolha com o percurso **mais curto entre pontos de recolha**. Foram registados, semanalmente, os resultados do número de ecopontos recolhidos, consoante o tipo de material reciclável que alberga e os quilómetros efectuados pelas viaturas de recolha.

Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Resultados obtidos na simulação do cenário de aplicação proposto

**Semana 1**

Circuito					
#1		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 46	Quinta-feira 37	Segunda-feira 30,891	Quinta-feira 32,475
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 47	Sexta-feira 54	Terça-feira 31,482	Sexta-feira 33,108
	Vidro	Sábado 26		Sábado 28,754	
	Total	210		156,710	
#2		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 53	Quinta-feira 47	Segunda-feira 28,233	Quinta-feira 36,836
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 54	Sexta-feira 47	Terça-feira 35,936	Sexta-feira 29,705
	Vidro	Sábado 50		Sábado 26,997	
	Total	251		157,707	
#3		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 39	Quinta-feira 56	Segunda-feira 31,950	Quinta-feira 28,604
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 50	Sexta-feira 43	Terça-feira 27,659	Sexta-feira 12,770
	Vidro	Sábado 43		Sábado 31,325	
	Total	231		132,308	
#4		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 52	Quinta-feira 37	Segunda-feira 26,838	Quinta-feira 26,878
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 46	Sexta-feira 45	Terça-feira 26,514	Sexta-feira 30,411
	Vidro	Sábado 42		Sábado 24,025	
	Total	222		134,666	
#5		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 33	Quinta-feira 47	Segunda-feira 20,279	Quinta-feira 21,558
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 42	Sexta-feira 41	Terça-feira 22,049	Sexta-feira 22,542

	Vidro	Sábado 32	Sábado 21,692
	Total	195	88,120
#6		N.º ecopontos recolhidos	Quilómetros efectuados
	Papel e Cartão	Segunda-feira 32 Quinta-feira 60	Segunda-feira 20,264 Quinta-feira 31,956
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 47 Sexta-feira 45	Terça-feira 23,213 Sexta-feira 27,729
	Vidro	Sábado 45	Sábado 20,431
	Total	229	123,593
#7		N.º ecopontos recolhidos	Quilómetros efectuados
	Papel e Cartão	Segunda-feira 50 Quinta-feira 59	Segunda-feira 32,678 Quinta-feira 43,626
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 44 Sexta-feira 65	Terça-feira 33,127 Sexta-feira 41,900
	Vidro	Sábado 52	Sábado 37,339
	Total	270	188,670
#8		N.º ecopontos recolhidos	Quilómetros efectuados
	Papel e Cartão	Segunda-feira 45 Quinta-feira 56	Segunda-feira 35,179 Quinta-feira 44,776
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 49 Sexta-feira 52	Terça-feira 40,636 Sexta-feira 43,822
	Vidro	Sábado 50	Sábado 42,574
	Total	252	206,987



Semana 2

Circuito				
#1		N.º ecopontos recolhidos	Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 46 Quinta-feira 45	Segunda-feira 29,626 Quinta-feira 32,446	
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 91 Sexta-feira 15	Terça-feira 39,886 Sexta-feira 24,035	
	Vidro	Sábado 66	Sábado 38,211	
	Total	263	163,809	
#2		N.º ecopontos recolhidos	Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 67 Quinta-feira 36	Segunda-feira 34,802 Quinta-feira 29,953	

	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 69	Sexta-feira 33	Terça-feira 30,152	Sexta-feira 23,811
	Vidro	Sábado 52		Sábado 32,975	
	Total	257		151,693	
#3		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 59	Quinta-feira 35	Segunda-feira 28,425	Quinta-feira 19,772
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 65	Sexta-feira 28	Terça-feira 28,131	Sexta-feira 18,751
	Vidro	Sábado 53		Sábado 26,141	
	Total	240		121,220	
#4		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 66	Quinta-feira 23	Segunda-feira 32,315	Quinta-feira 20,869
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 59	Sexta-feira 31	Terça-feira 29,400	Sexta-feira 21,660
	Vidro	Sábado 49		Sábado 27,541	
	Total	228		131,785	
#5		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 53	Quinta-feira 28	Segunda-feira 25,717	Quinta-feira 20,548
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 52	Sexta-feira 30	Terça-feira 23,024	Sexta-feira 19,071
	Vidro	Sábado 52		Sábado 24,865	
	Total	215		113, 225	
#6		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 52	Quinta-feira 39	Segunda-feira 26,893	Quinta-feira 25,030
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 57	Sexta-feira 35	Terça-feira 32,064	Sexta-feira 20,118
	Vidro	Sábado 51		Sábado 27,292	
	Total	234		131,397	
#7		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 17	Quinta-feira 88	Segunda-feira 24,030	Quinta-feira 47,137

	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 16	Sexta-feira 85	Terça-feira 26,449	Sexta-feira 43,125
	Vidro	Sábado 37		Sábado 27,270	
	Total	243		168,011	
#8		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 64	Quinta-feira 39	Segunda-feira 43,801	Quinta-feira 31,386
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 65	Sexta-feira 38	Terça-feira 46,540	Sexta-feira 36,638
	Vidro	Sábado 57		Sábado 39,914	
	Total	263		198,279	



Semana 3

Circuito					
#1		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 61	Quinta-feira 31	Segunda-feira 33,867	Quinta-feira 26,189
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 90	Sexta-feira 16	Terça-feira 43,234	Sexta-feira 20,548
	Vidro	Sábado 31		Sábado 27,479	
	Total	229		151,317	
#2		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 72	Quinta-feira 30	Segunda-feira 38,694	Quinta-feira 24,738
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 76	Sexta-feira 26	Terça-feira 41,945	Sexta-feira 18,960
	Vidro	Sábado 50		Sábado 29,705	
	Total	254		154,042	
#3		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 68	Quinta-feira 25	Segunda-feira 30,222	Quinta-feira 16,238
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 74	Sexta-feira 20	Terça-feira 30,641	Sexta-feira 15,527
	Vidro	Sábado 43		Sábado 24,710	
	Total	230		107,338	
#4		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	

	Papel e Cartão	Segunda-feira 76	Quinta-feira 12	Segunda-feira 36,853	Quinta-feira 16,330
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 69	Sexta-feira 22	Terça-feira 30,588	Sexta-feira 17,400
	Vidro	Sábado 40		Sábado 22,875	
	Total	219		124,046	
#5		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 58	Quinta-feira 22	Segunda-feira 26,488	Quinta-feira 18,421
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 64	Sexta-feira 16	Terça-feira 28,010	Sexta-feira 16,236
	Vidro	Sábado 30		Sábado 18,688	
	Total	190		107,843	
#6		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 65	Quinta-feira 28	Segunda-feira 31,808	Quinta-feira 19,181
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 73	Sexta-feira 19	Terça-feira 31,486	Sexta-feira 17,675
	Vidro	Sábado 42		Sábado 24,331	
	Total	227		124,481	
#7		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 51	Quinta-feira 57	Segunda-feira 36,503	Quinta-feira 38,109
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 49	Sexta-feira 59	Terça-feira 37,774	Sexta-feira 39,907
	Vidro	Sábado 72		Sábado 40,266	
	Total	288		192,559	
#8		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 74	Quinta-feira 28	Segunda-feira 46,221	Quinta-feira 33,262
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 78	Sexta-feira 27	Terça-feira 47,248	Sexta-feira 33,903
	Vidro	Sábado 44		Sábado 35,245	
	Total	251		195,879	



Semana 4

Circuito	
----------	--

#1		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 72	Quinta-feira 22	Segunda-feira 36,770	Quinta-feira 22,970
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 88	Sexta-feira 12	Terça-feira 38,124	Sexta-feira 20,748
	Vidro	Sábado 51		Sábado 30,498	
	Total	245		149,110	
#2		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 82	Quinta-feira 21	Segunda-feira 38,716	Quinta-feira 18,351
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 82	Sexta-feira 20	Terça-feira 40,815	Sexta-feira 18,219
	Vidro	Sábado 55		Sábado 31,589	
	Total	260		147,690	
#3		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 82	Quinta-feira 20	Segunda-feira 32,656	Quinta-feira 14,531
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 79	Sexta-feira 12	Terça-feira 33,872	Sexta-feira 14,987
	Vidro	Sábado 54		Sábado 24,183	
	Total	247		120,139	
#4		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 82	Quinta-feira 11	Segunda-feira 36,523	Quinta-feira 14,121
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 75	Sexta-feira 13	Terça-feira 33,098	Sexta-feira 14,463
	Vidro	Sábado 51		Sábado 26,452	
	Total	232		124,657	
#5		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 66	Quinta-feira 15	Segunda-feira 28,186	Quinta-feira 17,712
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 60	Sexta-feira 12	Terça-feira 29,436	Sexta-feira 15,112
	Vidro	Sábado 53		Sábado 28,194	
	Total	206		118,640	

#6		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 74	Quinta-feira 18	Segunda-feira 30,424	Quinta-feira 19,738
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 81	Sexta-feira 12	Terça-feira 31,807	Sexta-feira 12,734
	Vidro	Sábado 52		Sábado 28,130	
	Total	237		122,833	
#7		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 66	Quinta-feira 42	Segunda-feira 43,354	Quinta-feira 35,875
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 73	Sexta-feira 36	Terça-feira 46,522	Sexta-feira 31,219
	Vidro	Sábado 37		Sábado 28,961	
	Total	254		185,931	
#8		N.º ecopontos recolhidos		Quilómetros efectuados	
	Papel e Cartão	Segunda-feira 85	Quinta-feira 17	Segunda-feira 49,511	Quinta-feira 29,154
	Plástico, Metal e Embalagens	Terça-feira 82	Sexta-feira 19	Terça-feira 49,477	Sexta-feira 26,470
	Vidro	Sábado 57		Sábado 39,914	
	Total	260		194,526	

Os dados apresentados na tabela anterior assentam nos resultados obtidos pela plataforma *web-based* de cálculo de rotas de recolha e correspondem a uma sugestão automática da mesma, considerando um posterior ajuste manual a cada sugestão. O resultado para cada rota de recolha está, naturalmente, condicionado pelo número de ecopontos a recolher, a lista de quais os ecopontos a recolher e da própria localização geográfica do circuito, uma vez que se observou que os circuitos foram distribuídos pela área geográfica do concelho de Cascais, sob a qual a EMAC é responsável.

Comprovou-se assim que, quanto maior for o número de ecopontos a recolher, maior é o número de quilómetros que as viaturas têm de percorrer e maior o tempo necessário para a recolha. Destaca-se ainda que, ao longo das quatro semanas, os circuitos identificados como #7 e #8, mais afastados da sede da EMAC, requerem para a recolha dos equipamentos um número de quilómetros e tempo despendido significativamente maior, quando comparado com os restantes circuitos. Também é importante realçar que os ecopontos de cada circuito, foram maioritariamente recolhidos em cada semana, consoante a periodicidade de recolha associada ao tipo de material, o que indica que os ecopontos foram recolhidos, neste período, em cada semana, pelo menos uma vez. No que diz respeito à informação do total de ecopontos recolhidos nas quatro semanas para cada tipo de

material reciclável e o número total de quilómetros efectuados pelas viaturas de recolha, a mesma encontra-se apresentada na tabela seguinte.

De acordo com a Tabela 4.5, pode-se constatar que o número de ecopontos recolhidos de Papel e Cartão e Plástico, Metal e Embalagens é sensivelmente o mesmo, o que é compreensível visto que a periodicidade de recolha e a evolução de enchimento diário dos dois materiais recicláveis foi definido como igual. Para o caso do Vidro, o número de ecopontos recolhidos é sensivelmente metade do que os outros tipos de material, devido à relação de 2:1 na periodicidade de recolha, definida nas configurações iniciais da simulação deste tipo de material e os restantes.

Tabela 4.5 - Números totais obtidos no cenário de aplicação

	N.º ecopontos recolhidos	Quilómetros efectuados
Papel e Cartão	3.039	1.892,711
Plástico, Metal e Embalagens	3.055	1.857,934
Vidro	1.519	938,566
Total	7.613	4.689,211

No que diz respeito ao número de quilómetros, mantém-se a coerência na relação de 2:1 dos números, consoante o tipo de material recolhido, sendo o valor total de quilómetros percorridos durante este cenário de aplicação o número a considerar. A partir dos números apresentados pela EMAC no ano anterior, foi possível calcular um número médio mensal correspondente aos quilómetros totais efectuados pelas diversas viaturas, aquando da recolha do material dos equipamentos. Esse valor foi calculado anteriormente pela Equação (4.1) e corresponde ao valor de 6.837,250 km.

O objectivo inicial da simulação deste cenário de aplicação centrou-se em avaliar o funcionamento do sistema de optimização de rotas de recolha, no qual está integrada a plataforma de gestão *web-based* da rede de ecopontos da empresa EMAC. O estudo foi aplicado considerando um período de tempo de quatro semanas, ao longo das quais a seguinte informação foi registada: a evolução diária no nível de enchimento dos diversos ecopontos, rotas de recolha, equipamentos recolhidos e o número de quilómetros efectuados. O número total de quilómetros efectuados, no período de tempo considerado, foi de 4.689,211 km, o que corresponde a um decréscimo de 2.148,039 km em relação ao valor médio mensal da empresa no ano anterior.

4.3 Validação do sistema

Por forma a validar o sistema de optimização de rotas de recolha, proposto por esta Dissertação, aplicado à rede de contentores de material reciclável da EMAC, é importante comparar os resultados obtidos com os dados fornecidos da empresa respeitantes ao ano de 2011 para que, dentro do possível, seja possível obter uma comparação da utilização do método actual com o método proposto por este trabalho.

Os resultados foram obtidos por simulação já que não há um registo individual, por parte da EMAC, de qual o ecoponto que é recolhido, pois a empresa apenas contabiliza o número de quilómetros efectuado a cada recolha. Desta forma, e uma vez que a aplicação a um cenário real não foi possível, recorreu-se a um cenário de simulação, conforme descrito na secção anterior. No ambiente considerado, assumiu-se uma evolução diária no nível de enchimento de cada ecoponto e a recolha foi feita de acordo com o tipo de material a recolher e segundo a periodicidade actual da empresa. No caso real, não é possível definir um modelo concreto para a evolução no nível de enchimento de um ecoponto, pois, como já foi referido, é um processo que depende de diferentes variáveis. Assim, durante a simulação, considerou-se um incremento diário aleatório, entre um intervalo de valores para todos os ecopontos, o que fez com que todos os equipamentos fossem considerados para o sistema e para o cálculo das rotas de recolha. O processo de incremento aleatório diário de material reciclável garantiu que cada rota de recolha fosse calculada consoante o nível de enchimento de cada ecoponto, na altura em que a rota foi calculada, o que garante qualquer impossibilidade de relação no cálculo das diversas rotas.

A partir do valor total do número de quilómetros percorridos (4.689,211 km) que foi obtido a partir do cenário de aplicação considerado, foi possível criar uma base comparativa tendo a informação dos quilómetros mensais percorridos pelas viaturas no ano anterior.

Tabela 4.6 - Comparação de resultados entre os valores mensais do ano de 2011 com o valor mensal obtido no cenário de aplicação

	Distância percorrida (km)	Valor obtido (km)	Redução mensal (%)
Janeiro	11.738	4.689,211	60,1
Fevereiro	6.504		28
Março	5.280		11,2
Abril	7.061		33,6
Maio	4.848		3,3
Junho	6.340		26,1
Julho	6.206		24,5
Agosto	5.931		21
Setembro	7.237		35,2
Outubro	7.403		36,7
Novembro	6.741		30,5
Dezembro	6.758		30,6
Total	82.047		

De acordo com a tabela anterior, é possível observar que o número de quilómetros percorridos a partir do cenário de aplicação considerado foi, em todos os meses, inferior aos valores mensais registados no ano anterior. Calculou-se ainda, a partir da Equação 4.1, a redução de quilómetros mensal, sob a forma de percentagem, de acordo com os valores disponibilizados pela empresa dos quilómetros percorridos nos meses do ano de 2011.

$$\text{Redução percentual} = 100 \left(1 - \frac{\text{valor obtido no cenário de aplicação de quatro semanas}}{\text{valor mensal de km no ano de 2011}} \right) \quad (4.1)$$

Cálculo da média de redução percentual

$$= \frac{60,1 + 28 + 11,2 + 33,6 + 3,3 + 26,1 + 24,5 + 21 + 35,2 + 36,7 + 30,5 + 30,6}{12} = 28,4\% \quad (4.2)$$

De acordo com a Equação 4.2, pôde-se constatar uma redução média mensal na ordem dos 28% no que diz respeito ao número de quilómetros percorridos pelas viaturas de recolha. Convém, mais uma vez, referir que este valor foi obtido utilizando a sugestão de rota automática proposta pela plataforma *web-based*, utilizando o algoritmo de percurso mais curto entre paragens. De acrescentar, ainda, que a sugestão de rota proposta foi alvo de um ajuste manual na ordem de recolha dos ecopontos por parte do utilizador da plataforma. Este ajuste manual garante, em muitas ocasiões, um menor número de quilómetros a percorrer para efectuar a recolha de toda a lista de ecopontos, uma vez que este

ajuste contempla uma intervenção humana, eventualmente com um melhor conhecimento de estradas e trajectos. O ajuste manual permite ainda reduzir o prejuízo causado pela desvantagem de utilização do algoritmo de percurso mais curto entre paragens, referida anteriormente.

Não sendo, de todo, fácil de calcular a poupança mensal em termos de combustível, uma vez que depende de diferentes variáveis – entre as quais, a velocidade das viaturas, a inclinação e/ou estado do pavimento – é plausível considerar que, uma redução média de 2.148,039 km, valor correspondente ao decréscimo em relação ao valor médio mensal do ano anterior, permita obter uma redução significativa no orçamento anual da empresa.

De salientar, ainda, que este cenário de aplicação do sistema de optimização proposto, foi realizado cumprindo com a regularidade de recolha do material dos ecopontos, definida actualmente pela empresa. No entanto, utilizando a solução protótipo, permitindo transformar os ecopontos actuais em “ecopontos inteligentes”, capazes de monitorar o seu nível de enchimento, enviado esse valor para a entidade central que efectua a gestão da informação recebida, permitiria realizar a recolha seguindo as reais necessidades dos contentores, consoante o tipo de material depositado e os diversos níveis de enchimento dos equipamentos, o que permitiria quebrar com qualquer rotina de recolha pré-estabelecida.

Actualmente, as principais empresas de ambiente, entre as quais a EMAC, estabelecem diariamente quais os tipos de material a recolher e percorrem todos os ecopontos de um determinado circuito já definido. Esta solução acarreta algumas desvantagens, pois, como não há qualquer informação *a priori* do estado de enchimento dos equipamentos, é normal que o procedimento de recolha de alguns ecopontos seja feito em vão, uma vez que o contentor ainda não atingiu o seu nível máximo. Assim, pensa-se que um sistema de monitorização em tempo real do estado de enchimento dos ecopontos permitiria agilizar a recolha de uma forma mais eficaz o que, naturalmente, poderá traduzir-se em poupanças significativas para as empresas, visto que apenas fazem a recolha dos equipamentos de que realmente necessitam.

Como já foi referido anteriormente, a evolução de material reciclável nos ecopontos é um processo que tem inerentes bastantes factores externos – localização geográfica, pré-disposição das pessoas para reciclar, entre outros – e por vezes é difícil fazer um acompanhamento estatístico ao longo do tempo, já que não há, normalmente, o registo dessa informação por parte das equipas de recolha. Ao realizar um acompanhamento estatístico, ao longo do tempo, da evolução dos contentores ajudaria, possivelmente, a compreender certos dados que se poderiam relacionar com os hábitos da população, entre os quais o(s) período(s) do dia em que existe um maior depósito de material reciclável no interior de cada ecoponto ou se o número de equipamentos numa determinada área geográfica é suficiente. O sistema proposto neste trabalho permite que os diversos níveis de enchimento dos ecopontos sejam registados regularmente permitindo, na plataforma *web-based*, observar toda a informação graficamente, a qualquer hora ou local.

5. Conclusões

5.1 Síntese do trabalho efectuado

Ao longo deste trabalho desenvolveu-se um protótipo de um ecoponto de RSU inteligente que teve como principal objectivo determinar o nível de enchimento do ecoponto e enviar esse valor para uma plataforma *web-based*, que também foi desenvolvida. O valor do nível de enchimento foi calculado a partir de uma rede de sensores de ultrassom instalado no ecoponto inteligente e enviado através de um módulo de comunicação para um servidor na internet a partir da rede GSM.

Foi proposto desenvolver um algoritmo de optimização de rotas que permitisse diminuir os custos de recolha e transporte da carga das viaturas. O algoritmo permitiu que se efectuasse uma optimização a partir da menor distância entre os diversos contentores de ecopontos a incluir na rota de recolha ou considerando o menor tempo de viagem. Com base nos aspectos observados ao longo do trabalho, foram implementados dois algoritmos de optimização com diferentes vantagens e desvantagens: um algoritmo de percurso mais curto entre pontos de paragem e um algoritmo, baseado no princípio *Travelling Salesman Problem*. A partir do primeiro, efectuou-se um estudo de melhoria do actual sistema de recolha utilizado pela EMAC, nos oito circuitos de recolha da empresa, para contentores que apresentassem um nível de enchimento a partir de 70% da sua capacidade total.

O estudo entre este novo sistema e o sistema actual da EMAC foi feito com base em rotas optimizadas por distância.

Para além da contribuição tecnológica que esta dissertação propõe, acredita-se que este trabalho pode valorizar o aspecto social, uma vez que pode aproximar e incentivar cada vez mais a população a participar na separação e reciclagem de material já que, no protótipo desenvolvido, os cidadãos podem ser considerados parte activa no sistema, uma vez que podem denunciar casos de sobrelotação ou má utilização de um ecoponto.

Para além da utilização deste sistema aplicado ao caso de recolha de resíduos sólidos urbanos em ecopontos, acredita-se, devido à variedade de equipamentos e sistemas de recolha existentes actualmente, que é também possível aplicar este sistema a outros pontos de recolha de resíduos, mais pequenos e de outras características. Assim, pode-se pensar a sua utilização em espaços fechados como centros comerciais, aeroportos ou fábricas. Este sistema facilitaria a operação de limpeza dos equipamentos, uma vez que informava a entidade responsável do seu estado de enchimento.

5.2 Objectivos concretizados

O objectivo principal a que esta dissertação se propunha, foi o de desenvolver um sistema de gestão para a recolha de material reciclável. Apontadas as principais lacunas dos sistemas actuais, foi proposto desenvolver um protótipo de um ecoponto inteligente que teve como principal objectivo medir aproximadamente a quantidade de material no seu interior e enviar essa informação para uma entidade central que administrava a informação recebida. Este sistema propunha-se a suprir os casos de sobrelotação de material em ecopontos ou viagens, por parte da equipa de recolha, em vão, nos casos em que os ecopontos ainda não estivessem cheios. Neste âmbito, a proposta inicial foi a de utilizar sensores de distância, ou vulgarmente conhecidos por sensores de ultrassons, que enviam um eco numa determinada frequência e, a partir do tempo de resposta, calcula, aproximadamente o nível de enchimento. No sentido de complementar a informação sensorial, foi utilizado um conjunto de quatro sensores que, dispostos fisicamente em locais diferentes, numa estrutura instalada no topo de um ecoponto. O valor real de enchimento correspondeu, assim, à média dos valores medidos, aproximadamente. A utilização de um maior número de sensores aumentou a precisão na medição do nível de enchimento, uma vez que correspondeu a um incremento nas fontes de informação.

Uma das principais características de uma rede de ecopontos é a sua diferente localização geográfica o que faz com que, na maior parte dos casos, os ecopontos estejam distantes entre si ou até mesmo da entidade central que gere a rede. Devido a este factor, surgiu a necessidade de encontrar uma tecnologia que permitisse transmitir os valores lidos pelos sensores para a entidade central e que funcionasse até para os ecopontos mais distantes. A escolha recaiu em utilizar a rede GSM/GPRS, disponível a partir de vários operadores nacionais e que permite enviar os dados sensoriais recebidos a partir de qualquer localização. Devido à sua ampla difusão, já que está disponível praticamente em todo o território nacional, esta solução cumpriu, sem dificuldades, com o objectivo a que se propunha.

Por forma a gerir a informação sensorial recebida, foi também implementada uma plataforma *web-based* de gestão do sistema. Esta plataforma, disponível a partir da internet em qualquer hora e local, oferece maior mobilidade ao responsável pela rede, pois permite observar periodicamente a evolução dos níveis de enchimento dos diversos ecopontos. Para além de guardar e disponibilizar os vários registos de enchimento, a plataforma oferece ainda a possibilidade de gerar rotas óptimas de recolha a partir de vários métodos. Na implementação dos algoritmos, procurou-se uma remodelação do algoritmo por detrás do conceito *Travelling Salesman Problem* e na implementação de um outro algoritmo, simples, que calcula a menor distância entre pontos de paragem. A escolha recaiu neste último algoritmo que cumpriu, dentro das suas limitações, com o objectivo possível de optimização pretendido.

De uma forma geral, é possível dizer que os objectivos propostos inicialmente foram cumpridos integralmente, incluindo a procura em implementar uma solução de baixo custo. O preço do *hardware* do sistema protótipo proposto, composto por quatro sensores, um módulo de comunicação e um *microchip* revelou-se um valor perfeitamente enquadrável para uma possível

implementação numa rede de ecopontos real, uma vez que se calculou que, dada a poupança que se teria utilizando uma rede de ecopontos inteligentes, o valor de investimento inicial era rapidamente recuperado, em cerca de cinco anos.

5.3 Trabalho futuro

Como perspectivas futuras e considerando a constante evolução tecnológica, poder-se-á pensar em outras formas de comunicação sem fios, para transmitir a informação dos níveis de enchimento dos contentores que permita tirar partido de velocidades superiores de transmissão. A implementação de redes Wi-Fi nas cidades irá permitir acompanhar e comunicar directamente com o sistema presente nos contentores, explorando assim novas funcionalidades (Lelah A. et al., 2010).

Os custos do material e posterior desenvolvimento e implementação são uma componente no qual será sempre importante reduzir. Desta forma, será importante procurar sempre tecnologia (sensores, módulos de comunicação, entre outros) que permita reduzir os custos, nunca comprometendo o objectivo essencial proposto.

Com o objectivo de melhorar a avaliação do nível de enchimento de um ecoponto, acredita-se que seria importante dotar os contentores com um número superior de sensores de ultrassom. Esta acção permitiria aumentar o número de fontes de informação do nível de enchimento, o que levaria a um aumento na precisão na avaliação de material depositado num contentor. Quanto maior for o número de sensores, com mais detalhe seria possível criar uma perspectiva em três dimensões do estado de enchimento dos ecopontos, o que permitira garantir uma melhor percepção do seu interior. Poderá ainda pensar-se na substituição de sensores de ultrassom por outro tipo de sensores, como por exemplo, sensores de imagem (Arebey M. et al., 2011).

O algoritmo de optimização poderá ser melhorado por forma a não requerer grandes recursos computacionais e que permita ainda mais eficiência na obtenção de rotas de recolhas. O estudo de algoritmos heurísticos e neuronais já foi iniciado e são procedimentos que interessa desenvolver no futuro (Karadimas N. et al., 2007). Embora não tenha sido um aspecto alvo de estudo nesta dissertação, acredita-se que será importante ter em conta a optimização por custo do consumo de combustível e das emissões de gases poluentes, já que o gasto em combustível é uma fatia importante na despesa das empresas e, em termos ambientais, é necessário reduzir a emissão de poluentes para a atmosfera. Os estudos referentes a esta forma de optimização já foram iniciados (Tavares et al., 2010) pelo que interessa desenvolver de futuro procedimentos que possam levar a resultados verdadeiramente focados nestes objectivos e que possam levar a elevados benefícios.

Uma vez que a participação da população no gesto de reciclar é uma parte importante em todo o processo, considera-se importante continuar os trabalhos e o estudo que visam aumentar a pré-disposição dos cidadãos em contribuir neste processo e considerá-los, cada vez mais, uma parte activa do sistema. À semelhança de outros países, poder-se-á pensar numa forma de recompensar as pessoas que mais se predisponham a separar e a depositar o material reciclável.

Bibliografia

Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.; Disponível em: <http://www.apambiente.pt> (Último acesso em 16 de Janeiro de 2012).

AMARSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A.; Disponível em: <http://www.amarsul.pt> (último acesso em 17 de Janeiro de 2012).

Anghinolfi D., Paolucci M., Robba M., Taramasso A.C., 2011. “A dynamic model for recycling: optimization of solid waste separate collection”.

Arduino – HomePage. Disponível em: <http://www.arduino.cc/> (último acesso em 19 de Janeiro de 2012).

Arebey M., Hannan M.A., Abdullah H., Begum R.A., Basri H., 2011. “Solid Waste Truck Monitoring and Management using RFID, GIS and GSM”.

Armstrong, J.M., Khan, A.M., 2004. “Modelling urban transportation emissions: role of GIS”. *Computers, Environment and Urban Systems* 28, 421-433.

Chalkias, C., Lasaridi, K., 2009. “A GIS based model for the optimisation of municipal solid waste collection: the case study of Nikea, Athens, Greece”. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 10, 640-650.

Chang, N.B., Wei, Y.L., 1999. “Strategic planning of recycling drop-off stations and collection network by multiobjective programming”. *Environmental Management* 24, 247-263.

Chowdhury B., Chowdhury M.U., 2007. “RFID-based Real-time Smart Waste Management System”.

Correia, F.N., Liberato, P.N., Neves, E.B., e Leitão, A.G., 1995. *Plano Nacional da Política de Ambiente*. Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Lisboa.

Dahlén, L., Lagerkvist, A., 2010. “Pay as you throw – Strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden”. *Waste Management* 30, 23-31.

Dennison, G.J., Dodd, V.A., Whelan, B., 1996a. “A socio-economic based survey of household waste characteristics in the city of Dublin, Ireland – I Waste composition”. *Resources, Conservation and Recycling* 17, 227-244.

Dennison, G.J., Dodd, V.A., Whelan, B., 1996b. "A socio-economic based survey of household waste characteristics in the city of Dublin, Ireland – II Waste quantities". *Resources, Conservation and Recycling* 17, 245-257.

ECOGEST. "As ilhas ecológicas". Disponível em: <http://www.ecogestsrl.com> (último acesso em 16 de Janeiro de 2012).

EMAC – Empresa de Ambiente de Cascais. Disponível em: <http://www.emac-em.pt> (último acesso em 12 de Janeiro de 2012).

EMAFEL – Empresa Pública Municipal de Ambiente de Felgueiras, E.M.; Disponível em <http://www.emafel.com> (último acesso em 16 de Janeiro de 2012).

ENVAC Portugal. "Sustainable Vacuum Waste Collection Systems". Disponível em: <http://www.envacgroup.com> (último acesso a 17 de Janeiro de 2012).

Gonçalves, G., e Painho, M., 1997. "Factores de sensibilização na promoção da reciclagem de papel em escolas", *IV Congresso Nacional de Engenheiros do Ambiente*, APEA, Faro, 8 a 10 de Maio.

Google Developers. "The Google Geocoding API – Google Maps API Web Services". Disponível em: <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/> (ultimo acesso em 3 de Março de 2012).

Han, G.S.A., Bekta , N., Öncel, M.S., 2010. "Separate collection practice of packaging waste as an example of Küçükçekmece, Istanbul, Turkey". *Resources, Conservation and Recycling* 54, 1317-1321.

Helene Martine OverlØ, Allan Larsen, Stefan Ropke, 2009, "Intelligent Freight Transport Systems Visions for Real-Time Distribution Planning".

IGAMAOT – Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território. "Aterros Sanitários". Disponível em: <http://www.igaot.pt/wp-content/uploads/2010/02/ATERROS.pdf> (último acesso em 2 de Janeiro de 2012).

Jeroen Beliën, Liesje De Boeck, Jonas Van Ackere, 2011. "Municipal Solid Waste Collection Problems: A Literature Review".

Johansson, O.M., 2006. "The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system". *Waste Management* 26, 875-885.

Karadimas N., Kouzas G., Anagnostopoulos I., Loumos V., 2007. "Urban Solid Waste collection and routing: The Ant Colony Strategic Approach". *Multimedia Technology Laboratory School of Electrical & Computer Engineering, National Technical University of Athens*.

Kulcar, T., 1996. "Optimizing solid waste collection in Brussels". *European Journal of Operational Research* 90, 71-77.

Lelah A., Mathieux F., Brissaud D., Vincent L., 2010. "A Collaborative Network with SMEs Providing na Infrastructure for Urban PSS: Proposition of a Model and Initial Sustainability Analysis".

Lobato Faria, A., Chinita, A.T., Ferreira, F., Presumido, M., Inácio, M.M., e Gama, P. 1997. *Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos*, Grupo de Tarefa para a Coordenação do Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos, Ministério do Ambiente, Lisboa.

Manuel B. Marques, Patrícia O. Leitão, 2009. "Reliability Of A Line-of-view Sensor For Recycling Point Waste Containers".

Mgaya, P., Nondek, L., 2004. "Disposal frequencies of selected recyclable wastes in Dar es Salaam". *Waste Management* 24, 927-933.

Micropik, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04". Disponível em: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf> (último acesso em 17 de Julho de 2012).

MySQL: The world's most popular open source database. Disponível em: <http://www.mysql.com> (último acesso em 17 de Janeiro de 2012).

PERSU II, Programa Estratégio para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2012; Disponível em: <http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PERSU.pdf> (último acesso em 2 de Setembro de 2012).

PHP: Hypertext Preprocessor. Disponível em: <http://www.php.net> (último acesso em 2 de Setembro de 2012).

Python Programming Language – Official Website. Disponível em: <http://www.python.org/> (ultimo acesso em 18 de Janeiro de 2012).

Reinaldo S. Xavier, Lisboa A.C., Vieira A.G., Saldanha R., 2008. "Heuristica para modelagem e minimização de combustível para rotas de coleta de lixo".

REN – Rede Eléctrica Nacional; Disponível em: <http://www.ren.pt> (último acesso em 16 de Janeiro de 2012).

Santos, L.A., Rodrigues, J.C., 2003. "Implementação em SIG de uma heurística para o estudo da recolha de resíduos sólidos urbanos". Research Report No. 6/2003. Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC) Coimbra, Portugal.

Schulz F., Wagner D., Weihe K., 1999. "Dijkstra's Algorithm On-Line: An Empirical Case Study from Public Railroad Transport".

Seet B., Liu G., Lee B., Foh C., Wong K., Lee K., 2004. "A-STAR: A Mobile Ad Hoc Routing Strategy for Metropolis Vehicular Communications".

Sidique, S.F., Lupi, F., Joshi, S.V., 2010. "The effects of behavior and attitudes on drop-off recycling activities". *Resources, Conservation and Recycling* 54, 163-170.

Simonetto, E.O., Borenstein, D., 2007. "A decision support system for the operational planning of solid waste collection". *Waste Management* 27, 1286-1297.

Sociedade Ponto Verde. "Reciclagem é dar e receber", 2010. Disponível em: <http://www.pontoverde.pt/> (último acesso a 2 de Setembro de 2012).

Sonesson, U., 2000. "Modelling of waste collection – a general approach to calculate fuel consumption and time". *Waste management and Research* 18, 115-123.

Sparkfun Electronics. "Cellular Shield with SM5100B". Disponível em: <http://www.sparkfun.com/products/9607/> (último acesso em 19 de Janeiro de 2012).

Tarantilis, C.D., Diakoulaki, D., Kiranoudis, C.T., 2004. "Combination of geographical information system and efficient routing algorithms for real life distribution operations". *European Journal of Operational Research* 152, 437-453.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, New York.

Teixeira, J., Antunes, A.P., Sousa, J.P., 2004. "Recyclable waste collection planning – a case study". *European Journal of Operational Research* 158, 543-554.

Thampi S.G. e Namboodiri T.V., 2007. "Approaches for Sustainable Municipal Solid Waste Management – A Case Study with Specific Reference to the State of Kerala Republic of India".

Tomás P., Carvalho M., Sousa P., Ramos R., 2008. "A Reciclagem". Disponível em: http://www.notapositiva.com/pt/trbestbs/ciencnatur/08_reciclagem.htm (último acesso a 18 de Novembro de 2011).

União Europeia. "Incineração de Resíduos", 2010. Disponível em: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l28072_pt.html (último acesso em 17 de Janeiro de 2012).

VALORSUL; Disponível em: <http://www.valorsul.com> (último acesso em 17 de Janeiro de 2012).

Waite, R., 1995. *Household Waste Recycling*, Earthscan Publications, Ltd., Londres.

Wilson, C.D.H., Williams, I.D., 2007. "Kerbside collection: A case study from the north-west of England". *Resources, Conservation and Recycling* 52, 381-394.

Zamorano, M., Molero, E., Grindlay, A., Rodríguez, M.L., Hurtado, A., Calvo, F.J., 2009. "A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: A case of Churriana de la Vega (Granada, Spain)". *Resources, Conservation and Recycling* 54, 123-133.

